



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

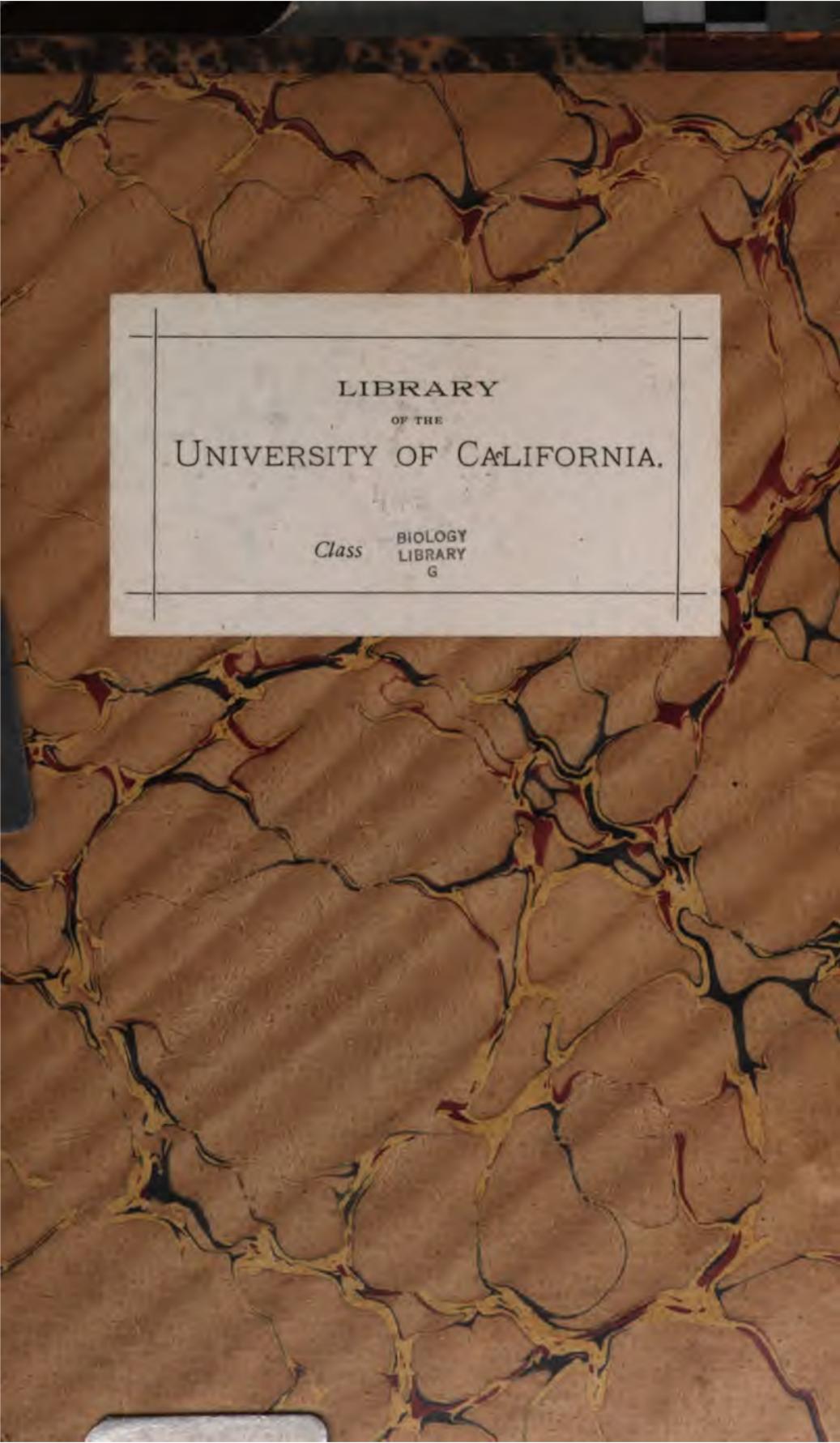
À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

UC-NRLF



B 3 888 015

The image shows the front cover of a book. The cover is decorated with a marbled paper pattern in shades of brown, tan, and dark red. A central rectangular label is pasted onto the cover. The label has a thin black border and contains the following text:

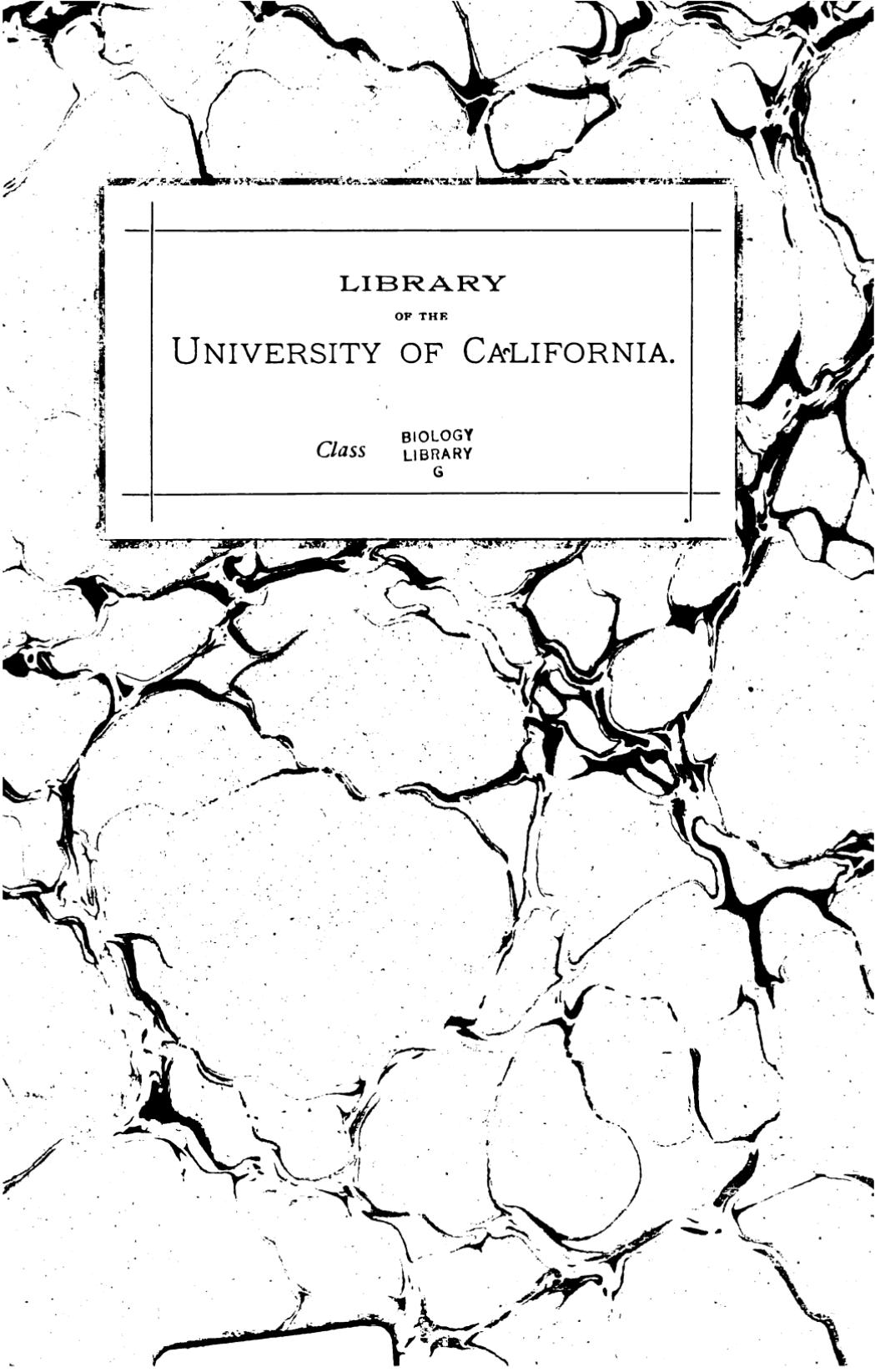
LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Class BIOLOGY
LIBRARY
G

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
Class BIOLOGY
LIBRARY
G

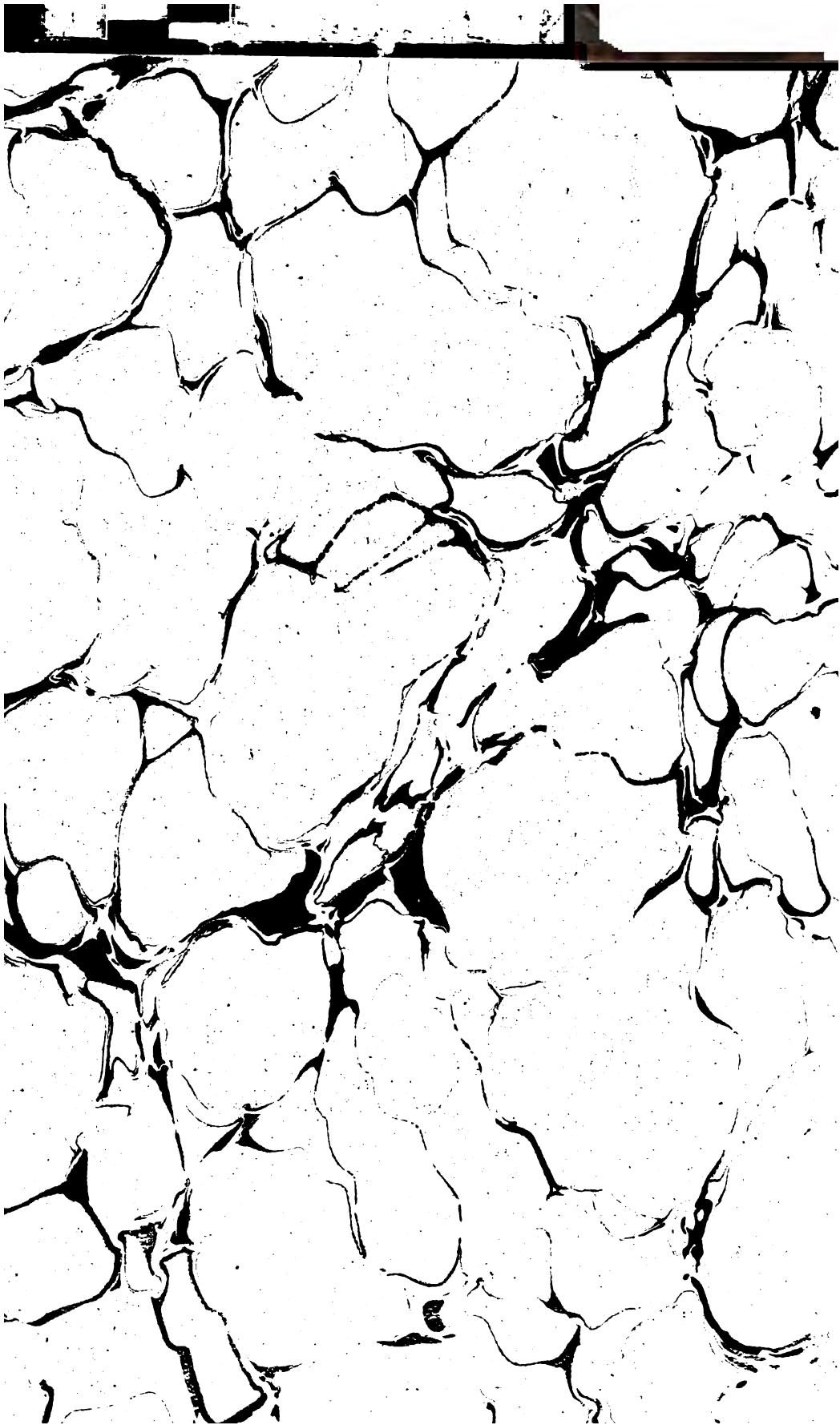
Class BIOLOGY
LIBRARY
G





LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Class BIOLOGY
LIBRARY
G



2020年12月31日

SÉRIE A, n° 499
N° D'ORDRE 1212

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Théodore SOLACOLU

DOCTEUR EN MÉDECINE

1^{re} THÈSE. — INFLUENCE DE QUELQUES ALIMENTS MINÉRAUX SUR
LES FONCTIONS ET LA STRUCTURE DES VÉGÉTAUX.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *19* Juin 1903, devant la Commission d'examen

MM. GASTON BONNIER..... *Président.*
GIARD..... } *Examineurs.*
VÉLAIN..... }

ÉD. CRÉTÉ

IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE

CORBEIL (S.-&-O.)

1903

UNIVERSITÉ DE PARIS

BIOLOGY
LIBRARY
G

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

MM.

Doyen.....	P. APPELL.....	Mécanique rationnelle.
Doyen honoraire.....	G. DARBOUX, <i>Profes.</i>	Géométrie supérieure.
Professeurs honoraires..	L. TROOST.	
	Ch. WOLF.	
	LIPPMANN.....	Physique.
	BOUTY.....	Physique.
	BOUSSINESQ.....	Physique mathématique et Calcul des probabilités.
	PICARD.....	Analyse supérieure et Al- gèbre supérieure.
	H. POINCARÉ.....	Astronomie mathématique et Mécanique céleste.
	Yves DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Phy- siologie comparées.
	G. BONNIER.....	Botanique
	DASTRE.....	Physiologie.
	DITTE.....	Chimie.
	GIARD.....	Zoologie, Évolution des êtres organisés.
	KOENIGS.....	Mécanique physique et ex- périmentale.
	VÉLAIN.....	Géographie physique.
	GOURSAT.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
Professeurs.....	CHATIN.....	Minéralogie.
	PELLAT.....	Physique.
	HALLER.....	Chimie organique.
	H. MOISSAN.....	Chimie.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseign ^t P. C. N.)
	JANET.....	Physique —
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie physique.
	PAINLEVÉ.....	Mathématiques générales.
	HAUG.....	Géologie.
	P. CURIE.....	Physique.
	TANNERY.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	RAFFY.....	Application de l'Analyse à la Géométrie.
	HOUSSAY.....	Zoologie.
	N.....	Chimie biologique.
	N.....	Zoologie, Anatomie, Phy- siologie comparées.
	PUISEUX.....	Mécanique et Astronomie.
	RIBAN.....	Chimie analytique.
	LEDUC.....	Physique.
	HADAMARD.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
Professeurs adjoints....	MATRUCHOT.....	Botanique.
	MICHEL.....	Minéralogie.
	DAGUILLON.....	Botanique.
	BOUVEAULT.....	Chimie organique.
	BOREL.....	Théorie des fonctions.
Secrétaire....	A. GUILLET	

GENERAL

27746

A

M. GASTON BONNIER

**MEMBRE DE L'INSTITUT
PROFESSEUR A LA SORBONNE**

Hommage de respectueuse reconnaissance

169014



INFLUENCE
DE
QUELQUES ALIMENTS MINÉRAUX
SUR LES FONCTIONS ET LA STRUCTURE DES VÉGÉTAUX
Par Th. SOLACOLU

INTRODUCTION

La nutrition minérale des végétaux a été l'objet de nombreux et importants travaux. Des analyses précises des cendres végétales furent faites par les chimistes et les agronomes.

Ces travaux ont eu pour premier résultat de montrer la présence dans les cendres des végétaux de certains corps simples. Le nombre des corps qui furent trouvés augmenta au fur et à mesure que les méthodes d'analyses sont devenues plus rigoureuses, et la liste des métalloïdes et métaux isolés des cendres végétales n'est pas encore close.

Puis on s'est demandé si tous les corps simples retrouvés dans les cendres étaient également nécessaires à la vie des végétaux. Par des cultures en milieux nutritifs artificiels, on a montré que ces corps indispensables étaient en nombre relativement restreint, et que dix corps seulement suffisent au végétal pour pouvoir vivre et se développer normalement. Pour se nourrir, la plante a besoin de trouver ces corps sous une forme chimique définie, sous forme de sels, qui constituent l'alimentation minérale des plantes.

Afin d'étudier le rôle des corps simples et de leurs sels, on les a supprimés dans les milieux nutritifs, et on a observé les modifications que produisait leur absence sur la composition chimique et sur la structure des plantes. Les travaux de mor-

phologie expérimentale de MM. G. Bonnier, de Lamarlière, Griffon, Amar, ont montré que, si ces modifications portent sur la structure des feuilles, il en résulte un changement de l'énergie assimilatrice.

Nous avons recherché sur plusieurs espèces végétales les variations que peuvent subir leurs échanges gazeux par suite de la suppression successive d'un corps simple déterminé dans le milieu nutritif, en nous limitant à la suppression du fer, de la potasse ou du phosphore. Ensuite nous avons étudié les modifications apportées à la structure des plantes dans ces conditions d'alimentation.

PROCÉDÉS EMPLOYÉS

Je me suis servi de solutions nutritives afin d'avoir des milieux bien déterminés, et j'ai employé la méthode synthétique pour rechercher le rôle du fer, de la potasse et du phosphore dans la nutrition des plantes.

Cette méthode consiste, comme on sait, à composer un milieu nutritif contenant tous les éléments nécessaires au développement des plantes. Dans ce milieu, on supprime l'élément dont on veut étudier le rôle, et on observe les modifications produites sur les plantes à la suite de cette suppression. Malgré quelques inconvénients, c'est par cette méthode qu'on obtient les résultats les plus précis.

La solution de Knop m'a servi pour étudier l'influence du fer. J'ai employé les solutions de Nobbe pour la potasse. Pour le phosphore, j'ai cultivé les plantes dans la solution de Knop, où j'ai supprimé le phosphate de potasse; le fer a été donné à l'état de sulfate.

Je me suis servi de l'eau distillée du commerce, que je faisais toujours redistiller dans un appareil en verre afin d'éviter toute trace de cuivre.

J'ai placé les graines, pour les faire germer, sur du papier-filtre humecté d'eau distillée ou dans la sciure préalablement lavée, jusqu'à ce que les radicules atteignent 3 à 4 centimètres de longueur; puis je les ai transportées dans la solution nutritive, en ayant soin que les cotylédons ne plongeassent pas dans le liquide nutritif. Au début de la végétation, les solutions nutritives contenaient 0^{gr},50 de sels pour 1 litre.

Les vases de culture étaient en verre, et entourés de papier noir; je remplaçais fréquemment les solutions afin que leur concentration variât le moins possible.

La respiration a été étudiée sur des feuilles ou des morceaux de tige qui étaient placés à l'obscurité dans des éprouvettes contenant de l'air atmosphérique.

Pour l'assimilation, je me servais de feuilles isolées ou de portions de feuilles. Je les introduisais dans une éprouvette à faces parallèles remplie de mercure et renversée sur une cuve à mercure. Je faisais pénétrer dans l'éprouvette un mélange d'acide carbonique et d'air dans les proportions de 8 à 10 p. 100.

Avant d'exposer les feuilles à la lumière, j'introduisais au-dessus du mercure un peu d'eau pour empêcher la toxicité des vapeurs de mercure d'agir sur la feuille. La durée de l'exposition à la lumière directe était de vingt à trente minutes. En faisant l'analyse de l'air initial et de l'air final pour chaque expérience, et en tenant compte du volume d'air et de la surface de feuille, je déterminais l'intensité de l'assimilation. Les analyses des gaz ont été faites avec l'appareil de MM. Bonnier et Mangin.

Pour la transpiration, je me suis servi de plantes entières, dont les racines plongeaient dans des solutions de même concentration; la quantité d'eau évaporée était mesurée par la balance et rapportée au poids frais de plante.

PREMIÈRE PARTIE

EXPÉRIENCES

I. — LE FER.

1. Présence du fer dans les végétaux.

On a constamment trouvé du fer, par l'analyse, dans les cendres des végétaux.

Le fer, répandu dans toutes les parties des végétaux en proportions plus ou moins grandes, est surtout très abondant dans le protoplasma des feuilles (1). D'après les analyses de Wolf (2), on trouve dans 100 parties de cendres de végétaux les proportions suivantes d'oxyde de fer :

	Graines.	Racines.	Feuilles.
Chou.....	1,97	1,07	1,29
Chicorée.....	0,87	2,62	1,98
Lupin jaune.....	0,61	»	7,40
Sapin.....	1,31	»	1,19
Pin.....	3,01	»	4,63

Mais il est probable que ces chiffres peuvent être modifiés par la composition du terrain dans lequel se sont développées ces plantes.

Dans certains végétaux, la proportion de fer retrouvé dans les cendres peut être très grande. C'est ainsi que les cendres de feuilles de Pin renferment 8,08 p. 100 de fer ; les *Lemma trisulca* en renferment 9,80 p. 100 ; celles de *Trapa natans*,

(1) Armand Gautier, *Chimie biologique*, 2^e édit., p. 30 et 31.

(2) A. Wolf, *Aschenanalysen*, Berlin, 1871. — Grandeau, *Analyse des matières agricoles*.

dans les organes végétatifs, 29 p. 100, et dans les téguments, 68 p. 100 (1).

Le fer existe à l'état d'oxyde dans le sarment de Vigne, dans le Topinambour, dans les rhizomes de l'Iris, dans les faisceaux libéro-ligneux des écailles de l'*Allium cepa* (2), dans les embryons des graines de presque toutes les familles; on n'en trouve au contraire que des traces chez les Renonculacées. La présence du fer a été signalée dans les plantes sans chlorophylle, comme les Monotropes et les Orobanches (3).

Klebs (4), Trollius l'ont trouvé dans plusieurs Algues. T.-L. Phipson (5) l'a isolé à l'état de composé organique dans les *Palmella cruenta*.

Dans les Lichens, Grumbel (6), H. Schwartz (7) ont rencontré le fer en assez grande quantité, et Grumbel pense que dans les Lichens ferrugineux il est à l'état de combinaison organique.

Plusieurs auteurs ont signalé la présence du fer dans les Mousses; sa proportion varie dans les *Sphagnum* de 10 à 20 p. 100 (8). Molisch (9), sur beaucoup d'espèces de Mousses, a fait des analyses qualitatives, et toujours il a trouvé du fer en proportions variables.

On a recherché le fer dans les Champignons; G. Linossier (10) a trouvé dans les spores d'*Aspergillus niger* du fer organique qu'il nomme *aspergilline* ou *hématine végétale*. Dans les végétaux, le fer se trouve le plus souvent à l'état d'oxyde de fer et sous forme organique. Letellier, Rammelsberg, Boussingault, Wolf ont révélé l'existence de traces de fer dans les végétaux. Ils ont pensé que la chlorophylle et les matières colorantes des fleurs étaient une combinaison organique du fer (11). Mais

(1) Thomas, *Vergl. Landw. Versuchest.*, t. XLIX, p. 165. — L'auteur attribue cette accumulation de sel de fer à la précipitation du fer par le tannin dans les fruits morts.

(2) Molisch, *Die Pflanzen in ihren Beziehung zum Eisen*. Jena, 1892, p. 40-41.

(3) Mayer, *Agrikultur Chemie*, Bd. I, Aufl. 5, p. 303 et suiv.

(4) Klebs, *Untersuchungen aus dem Bot. Inst. in Tübingen*, Bd. II, p. 38.

(5) T.-L. Phipson, *Comptes Rendus*, t. CXII, p. 666.

(6) Grumbel, *Flora*, 1861.

(7) Schwartz, *Cohn's Beitr. zur Biologie der Pflanzen*, Bd. III, Heft 2, p. 264.

(8) Mayer, *loc. cit.*, p. 306.

(9) H. Molisch, *loc. cit.*, p. 31 et 36.

(10) G. Linossier, *Comptes Rendus*, t. CXII, p. 489.

(11) A. Dastre, *Dictionn. de physiol. de Ch. Richet*, t. VI.

Gautier a montré que la chlorophylle cristallisée ne contenait pas de traces de fer.

Le fer a été trouvé en combinaison organique par d'autres expérimentateurs. Linossier (1) le trouve dans les spores d'*Aspergillus* sous forme d'aspergilline. Molisch (2), par une méthode microscopique, le décèle dans toutes les plantes sous forme de fer organique. Phipson (3) en trouve dans les Algues. Petit (4) a pu l'isoler dans l'Orge.

Neumeister (5) admet la présence d'une ferro-nucléine dans les cellules végétales et pense que c'est sous cette forme que le fer est absorbé par les animaux.

Stoklasa (6) a réussi à extraire des bulbes d'*Allium cepa* une substance possédant presque exactement la composition de l'hématogène de Bunge.

Cette matière contient 1^{er},68 p. 100 de fer. Par des analyses et par l'examen microscopique, il a pu voir que le fer sous forme organique est en grande partie localisé dans l'embryon et sous l'endosperme et qu'il sert pendant la germination à la formation des noyaux des jeunes cellules. Lœw (7) arrive à la même conclusion ; d'après ses recherches le fer autant que le phosphore seraient nécessaires à la formation des noyaux cellulaires.

Le fer est généralement absorbé sous forme de sels ferreux qui sont moins toxiques que les sels ferriques (8). Mais les plantes peuvent absorber même des solutions étendues de ferrocyanure sans dépérir.

L'influence du fer sur les végétaux a été envisagée à plusieurs points de vue :

On a d'abord établi la nécessité du fer pour le développement complet de tous les végétaux, son rôle dans la forma-

(1) *Loc. cit.*

(2) *Loc. cit.*, p. 7.

(3) *Loc. cit.*

(4) Petit, *Comptes Rendus*, t. CXIV, p. 246, 1892.

(5) Neumeister, *Physiologisch Chemie*, 1898.

(6) Stoklasa, *Comptes Rendus*, t. XXVII, p. 282.

(7) Lœw, *The physiological role of mineral nutrients*. Washington, 1903, p. 17.

(8) Petit, *Comptes Rendus de l'Acad. des Sc.*, 1893, p. 1103.

tion de la chlorophylle et son action dans la guérison de la chlorose. Ensuite on a cherché à établir la valeur du fer comme engrais.

« Le fer est jusqu'à présent le seul métal auquel on ait réussi, en s'appuyant sur des expériences, à attribuer avec certitude un rôle physiologique positif.

« Il est certain que, dès qu'on retranche les sels de fer, la plante cesse aussitôt de produire de la chlorophylle; il est donc indispensable à la formation de la couleur verte, et, comme à la présence de la chlorophylle est lié le fait de l'assimilation, le fer joue un rôle très important dans la vie des plantes. »

C'est ainsi que s'exprime Sachs (1) dans son étude sur les principes nutritifs des plantes. On a réussi depuis à déterminer le rôle physiologique d'autres corps. Liebig et puis Nobbe ont montré l'influence de la potasse sur la formation et la migration de l'amidon.

Eusèbe Gris (2), partant des résultats obtenus par l'emploi des sels ferrugineux en thérapeutique médicale, eut l'idée d'expérimenter sur des plantes chlorotiques les sels de fer.

En arrosant des plantes chlorotiques avec une solution de sulfate de fer, il a constaté que les plantes verdissent au bout de quelques jours.

L'action des sels de fer s'exerce aussi localement sur la feuille. Si on applique sur une partie d'une feuille chlorotique une solution étendue de sulfate de fer, il se produit un verdissement sur la partie imbibée.

Arthur Gris (3), en suivant au microscope les transformations subies par les grains de chlorophylle dans les plantes chlorotiques, observa « que le parenchyme des feuilles chlorosées contient en grande partie une gelée granuleuse jaunâtre s'étendant sur la paroi des cellules, ou bien un nuage de petites ponctuations à peine colorées qui enveloppent les nucléus; quelques cellules présentent çà et là quelques grains pâles à peine ébauchés et se détachent d'une masse gélatineuse.

(1) Julius Sachs, *Physiologie végétale*, trad. française. Genève, 1869.

(2) Eusèbe Gris, *Comptes Rendus*, t. XXI, 1845, p. 1386.

(3) Arthur Gris, *Recherches microscopiques sur la chlorophylle* (Thèse Paris, 1857, p. 29 et 35).

Les cellules qui reverdissent contiennent des grains de chlorophylle nombreux d'un vert foncé et à divers états de développement.

Les sels de fer rendent aux grains de chlorophylle arrêtés dans leur développement par la chlorose la faculté de continuer leur évolution.

Tous les expérimentateurs qui ont repris les travaux de Gris ont confirmé ses résultats sur l'utilité des sels de fer pour les plantes chlorotiques. De Salm-Hortsmar (1) a prouvé par des expériences en milieu artificiel la nécessité du fer pour le développement complet des plantes. Il cultiva, en solutions nutritives privées de sels de fer, du Colza et de l'Avoine. Dans ces conditions, ces plantes sont devenues rapidement chlorotiques, et, en ajoutant du fer au milieu nutritif, les plantes reverdirent.

Knop, en 1877, démontre que les quatre bases : chaux, magnésie, potasse et oxyde de fer, sont indispensables à la vie des plantes.

Selon Boussingault (2), le fer paraît aussi indispensable à la vie des plantes qu'à la vie animale.

Sachs (3) cultiva du Maïs dans un milieu liquide sans fer ; les trois ou quatre premières feuilles furent normales, les suivantes vertes seulement au sommet et blanches à la base, et celles qui succédèrent complètement blanches ; il en conclut que la chlorose paraît lorsque toutes les parties du germe se sont développées aux dépens de la matière nutritive contenue dans la graine, et que la plante ne peut arriver sans fer à son complet développement. Le même auteur n'a pas réussi à avoir des feuilles complètement blanches avec le *Phaseolus* cultivé en l'absence de fer.

Molisch (4) est arrivé à produire la chlorose du *Phaseolus multiflorus* en enlevant les cotylédons et en se servant d'un milieu nutritif privé de fer.

(1) De Salm-Hortsmar, *Versuchung und Resultate über die Nahrung des Pflanzen*, 1856.

(2) *Comptes Rendus de l'Acad. des Sc.*, 1872.

(3) Sachs, *Physiologie végétale*, Genève, 1868, p. 159, et *Flora*, 1862, p. 183.

(4) Molisch, *Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen*. Jena, 1892, p. 92.

Griffon (1), en cultivant la Luzerne et le Maïs dans la solution de Knop sans fer, a pu observer la production de la chlorose ; il a vu les plantes reverdir en ajoutant quelques centimètres cubes d'une solution à 1/1000 de sulfate de fer.

Zimmermann (2) a montré que l'action du fer sur les feuilles chlorotiques s'exerce seulement quand la feuille n'est pas irrémédiablement malade. A la suite de l'apport du fer, les chloroleucites se multiplient et leur coloration devient plus intense.

En cultivant la Moutarde, le Chanvre, le Blé, le Maïs, le Radis et le Pois dans des solutions de Knop sans fer, nous avons obtenu des feuilles complètement décolorées.

En ajoutant des traces de phosphore de peroxyde de fer, les feuilles ont pris, au bout de trois à huit jours, la coloration normale ; cultivant dans la même solution nutritive le Sarrasin et le Lupin blanc, le blanchissement n'a eu lieu que pour les toutes dernières feuilles.

Tous les expérimentateurs ne sont pas d'accord sur le rôle du fer dans la formation de la chlorophylle et la coloration des feuilles. Arth. Gris et Wiesner pensent qu'une feuille chlorotique contient tous les éléments de la chlorophylle à l'état désorganisé, et que le fer est nécessaire pour son organisation. Ad. Chatin (3) attribue le verdissement qui se produit dans les plantes après l'emploi du fer à la précipitation des tannins à l'état de tannates de fer. — MM. Degruelle et Gastine trouvent du fer en abondance dans les cendres des feuilles de Vigne chlorotiques. M. Crochetelle (4) a continué ces recherches en faisant l'analyse comparative des feuilles de Poiriers chlorotiques et des feuilles vertes. Il a trouvé une plus forte proportion de fer dans les feuilles chlorotiques.

Dehérain (5) pense que c'est en produisant la décomposition du carbonate de chaux que le sulfate de fer agit dans la chlorose.

(1) Griffon, *Thèse Paris*, 1899, p. 97.

(2) Zimmermann, *Beitr. zu Morphologie und Physiologie der Zellen*, 1893.

(3) A. Chatin, *Bulletin de la Société de Botanique de France*, t. VIII, 1886.

(4) Crochetelle, *Étude chimique sur la chlorose du Poirier* (*Journal de la Société d'Horticulture*, t. XVII, 1895, p. 850 et 853).

(5) Dehérain, *Chimie agricole*, p. 889 et suiv.

Le carbonate de chaux disparaissant, l'acide des racines n'est plus saturé, et celui-ci exerce son action dissolvante ; la plante peut s'approprier les matériaux nécessaires à sa nutrition.

D'après ces recherches, le fer n'agirait qu'indirectement sur la plante. Or nous avons vu que d'autres expériences montrent l'action directe du fer sur la production de la matière verte. On empêche la chlorose de la Vigne en arrosant la plaie faite par la taille avec une solution étendue de sulfate de fer.

Nous avons pris des pieds d'*Hieracium umbellatum* qui s'étaient développés dans un terrain des environs de Fontainebleau, fortement calcaire, dont les feuilles très chlorosées ne présentaient de grains de chlorophylle que le long des nervures, et nous les avons transplantés, les uns dans de l'eau distillée contenant des traces de fer à l'état de perchlorure, et les autres dans de l'eau distillée pure.

Les plantes qui avaient à leur disposition du fer ont commencé à verdir le cinquième jour de l'expérience ; le dixième jour, toutes les feuilles étaient complètement vertes. Les plantes qui étaient dans l'eau distillée ne subirent aucun changement.

Dans ces expériences, il a suffi des traces de fer pour voir la chlorophylle se reformer.

Pour Knop, qui un des premiers a montré la nécessité du fer pour le développement normal des végétaux, la chlorose est due à des causes différentes ; elle provient d'un trouble général dans la nutrition et peut être occasionnée par un manque absolu de fer ; mais le rôle qu'on attribue à ce métal dans la formation de la chlorophylle, et par là dans la coloration des plantes, n'est sûrement pas exact (1).

Il est vrai que les expérimentateurs ont observé que, si l'on retire tout le fer du milieu nutritif, les plantes deviennent jaunes et pâles.

Or cette coloration jaune peut apparaître sous l'influence d'un autre facteur ; c'est ainsi que souvent, pendant les

(1) Knop, cité d'après Sachs, *Physiologie des plantes*.

étés froids, les feuilles de Maïs sont jaunes, bien qu'on ait ajouté du sulfate de fer au milieu nutritif. Les cendres de ces feuilles jaunes contiennent autant de fer que les cendres des feuilles vertes, qui se sont développées à une température convenable dans des solutions nutritives analogues contenant du sulfate de fer (1).

De plus en plus on admet que la chlorose est la résultante d'un trouble fonctionnel pouvant avoir plusieurs causes.

Les principales sont : l'absence du fer dans le milieu nutritif, absence de phosphate, abondance de calcaire dans le sol, et la cause signalée plus haut par Knop (2).

On comprendra, d'après cette multiplicité de causes, pourquoi tous les auteurs ne sont pas d'accord sur l'importance du fer dans la chlorose.

Le fer n'a pas seulement comme rôle de permettre aux végétaux à chlorophylle de produire la substance verte, son action paraît être indispensable même aux végétaux inférieurs.

J. Raulin (3) a montré la nécessité de l'oxyde de fer pour obtenir d'une culture d'*Aspergillus niger* le maximum de rendement ; il a déterminé le rapport entre le poids des matières organisées et le poids du fer qui a contribué à la formation de ces matières organisées ; ce rapport est de $\frac{1}{857}$.

La suppression du fer dans une culture d'*Aspergillus* fait baisser la récolte à un tiers, et, par l'addition ultérieure de cet élément, le Champignon ne peut plus atteindre son poids normal.

Cugini (4) pense que le fer est inutile pour le développement du Champignon. Ad. Mayer (5), pour la levure de bière, et A. Schulze, pour le *Saccharomyces myxoderma*, ont la même opinion. Wehrmer (6) voit dans le fer un excitant, non un élément indispensable pour les organismes inférieurs.

(1) Knop, *Lehrb. der Agricultur Chemie*, Leipzig, 1868, p. 610.

(2) Wiesner a observé qu'un optimum de chaleur était nécessaire pour la production de la chlorophylle. Cet optimum varie entre 6° et 36°.

(3) J. Raulin, *Thèse Paris*, 1870, p. 168 et 203.

(4) Cité d'après Molisch, *loc. cit.*

(5) Ad. Mayer, *loc. cit.*

(6) Wehrmer, *Beiträge zur Kennt. einheim. Pilze*, 1895, t. II.

Molisch (1), après avoir montré la présence du fer dans les Champignons, a démontré, par des expériences très précises, la nécessité du fer pour la fructification des Champignons, et surtout pour l'*Aspergillus*. Dans une solution sans fer, la récolte d'*Aspergillus* a varié entre 31 et 41 grammes ; en ajoutant du fer, la production a atteint 69 grammes et 96 grammes. Dans la solution sans fer, l'*Aspergillus* n'a pas produit d'appareils de fructification ; en présence du fer, il fructifie abondamment. Il conclut que la présence du fer est indispensable à la formation des spores.

Benecke (2) confirme la nécessité du fer pour le développement des spores.

Stoklasa (3) constate la nécessité du fer dans le liquide nutritif pour le développement du *Bacillus megatherium* et du *Mucor*.

Paul Becquerel (4) a démontré récemment la nécessité du fer pour le développement des protonémas d'*Atrichum* et d'*Hypnum*. Cultivés dans une solution nutritive sans fer, les protonémas de ces deux espèces de Mousses n'ont vécu qu'un mois ; s'étant très peu développés, ils ont perdu de plus en plus leur teinte verdâtre et sont devenus rougeâtres.

Sachs et Reisse (5) ont recherché si le fer pouvait être remplacé par un métal voisin. D'après leurs expériences, le manganèse et le nickel ne peuvent remplacer le fer dans la nutrition du Maïs.

P. Wagner (6) confirme ces résultats, qui sont conformes à ceux de Bierner et Lucanus.

On a tour à tour vanté et nié l'importance du fer comme engrais.

Gasparin, un des premiers, admet la valeur du fer comme engrais. En critiquant les conclusions de Thäer, il dit qu'on ne doit pas conclure de l'emploi du sulfate de fer à des doses trop élevées à sa non-valeur.

(1) *Loc. cit.*, p. 101 et 117.

(2) Benecke, *Jahrb. Wiss. Bot.*, t. XVIII, p. 487.

(3) Stoklasa, *Comptes Rendus*, t. CXXVIII, p. 282.

(4) P. Becquerel, *Comptes Rendus*, t. CXXXIX, p. 785.

(5) Sachs, *Physiologie des plantes*, 1869, p. 160.

(6) Law. *Versuch. Station*, t. XII, 1870, p. 69.

Eusèbe Gris conseille de répandre, pour 1 hectare, 60 kilogrammes de sulfate de fer en solution à 2/1000.

Dehéraïn et Grandeau ont trouvé que le sulfate de fer exerce une action nuisible; ils avaient employé 250 kilogrammes par hectare.

Wightson et Munro arrivent à la même conclusion avec des doses aussi élevées.

Griffiths (1) trouve que l'emploi du fer exerce une action favorable sur les plantes de grande culture et sur les prairies. Il prétend que le fer agit sur la végétation en favorisant la fixation de l'ammoniaque dans le sol, en oxydant les matières organiques (2) du terrain, en favorisant l'assimilation des phosphates (3) et en agissant sur la chlorophylle.

MM. Boiret et G. Paturel (4) reprennent les recherches de Griffiths et trouvent qu'en faisant du sulfate de fer un engrais on a beaucoup exagéré son rôle.

Pour ces auteurs, les sels ferreux, et en particulier le sulfate de fer, ont parfois produit une augmentation de récolte, alors même que le fer ne faisait pas défaut dans le sol; mais ils ont obtenu ces résultats dans les terrains calcaires, et non dans des terrains argileux, sable ou terrains humifères.

Suivant A. Bernard (5), le sulfate de fer n'est pas absorbé directement par les végétaux. Il explique ainsi l'action pernicieuse qu'exerce ce sel sur la végétation en terrain non calcaire.

Dans les sols calcaires, le sulfate de fer agit en donnant lieu à des réactions qui ont pour résultat la décalcaration du sol trop riche en chaux, et à de la production lente et continue d'acide carbonique, favorable à l'utilisation des phosphates et à l'oxydation des matières organiques.

(1) Griffiths, *The Chemical News*, 1884 et 1885.

(2) Verdeuil, Thénard ont montré l'action du fer dans l'oxydation des matières organiques.

(3) Knop a montré que l'acide phosphorique disparaissait d'une solution nutritive jusqu'à la dernière trace si l'on saupoudrait la racine avec du phosphate de fer.

(4) Boiret et G. Paturel, *Ann. agronomiques*, t. XVIII, 1892, p. 417-440.

(5) A. Bernard, *Progrès agricole et vinicole*, 1892.

Les divergences entre ces expérimentateurs peuvent s'expliquer, si l'on admet qu'une certaine dose de sels de fer, qui augmente la production dans un terrain, peut devenir toxique dans un terrain d'une autre composition.

2. Influence du fer sur les échanges gazeux entre les plantes et l'extérieur.

Pour étudier l'influence du fer sur la respiration et l'assimilation chlorophyllienne, nous avons cultivé dans des solutions de Knop, privées de fer, les espèces suivantes : Blé, Maïs, Lupin, Sarrasin, Pois, Radis, et le Chanvre.

Afin de comparer ces résultats, nous avons cultivé des plantes témoins dans une solution de Knop pourvue de fer. Les conditions d'éclairement et d'humidité étaient identiques dans les deux cas.

Toutes nos plantes cultivées dans le Knop sans fer sont devenues chlorotiques à un stade de développement qui varie pour chacune. C'est ainsi que nous avons observé la décoloration du Blé et du Maïs à partir de la troisième ou quatrième feuille. L'absence du fer se manifeste dans le Radis et le Pois dès le début du développement.

Le Lupin résiste plus longtemps; c'est la septième, quelquefois la huitième feuille qui commence à devenir chlorotique. Les premières feuilles du Sarrasin sont vertes, les suivantes ont une coloration vert jaunâtre; seules sont complètement décolorées les dernières feuilles, celles qui précèdent l'épanouissement des fleurs.

Quand la chlorose a été manifeste chez ces plantes, nous avons ajouté du fer au milieu nutritif; nous nous sommes servi d'une solution de sulfate de fer au millième.

Dans ces conditions, nous avons toujours vu se produire le verdissement des plantes. Pour toutes nos plantes, l'influence du fer s'est manifestée dès le troisième jour; le sixième jour, le verdissement était complet.

Nous avons étudié comparativement pour chacune de ces

espèces la respiration, l'assimilation chlorophyllienne et la transpiration.

1° *Respiration.*

Pour étudier la respiration, nous avons pris un poids de 25 centigrammes de feuilles chlorotiques et le même poids de feuilles normales. Nous avons introduit ces feuilles dans des éprouvettes renfermant un même volume d'air atmosphérique ; ces éprouvettes ont été renversées sur du mercure.

La durée des expériences était de douze heures.

Blé normal.....	CO ²	5,2	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}} = \frac{5,2}{5,5} = 0,92$
	O	15,2	
Blé chlorotique.	CO ²	3,3	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}} = \frac{3,3}{3,4} = 0,96$
	O	17,3	

Le rapport entre l'oxygène absorbé et l'acide carbonique dégagé est sensiblement égal pour un même poids de feuilles chlorotiques et de feuilles normales.

La quantité d'oxygène absorbée par les feuilles vertes est supérieure à la quantité d'oxygène absorbée par les feuilles chlorotiques ; ce qui indique que la respiration de ces dernières est moins intense que celle des feuilles saines.

Pour le Maïs, dans les mêmes conditions d'expérience, on trouve :

Maïs avec fer.			Maïs sans fer.		
CO ²	4,3	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}} = \frac{4,3}{4,5} = 0,95$	CO ²	2,7	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}} = \frac{2,7}{3,0} = 0,90$
O	16,2		O	17,7	
CO ²	4,3		CO ²	2,7	
O	4,5		O	3,0	

Lupin blanc, mêmes conditions d'expérience :

Lupin avec fer.			Lupin sans fer.		
CO ²	5,1	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}} = \frac{5,1}{5,7} = 0,90$	CO ²	2,9	$\frac{\text{CO}^2}{\text{O}} = \frac{2,9}{3,3} = 0,87$
O	15,1		O	17,4	
CO ²	5,1		CO ²	2,9	
O	5,7		O	3,3	

Radis, mêmes conditions d'expérience :

Radis avec fer.		Radis sans fer.	
CO ²	3,8	CO ²	2,2
O	16,1	O	18,0
$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{3,8}{4,6} = 0,92$		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{2,2}{2,7} = 0,81$	

Pois, mêmes conditions d'expérience :

Pois avec fer.		Pois sans fer.	
CO ²	3,5	CO ²	2,0
O	17,0	O	18,6
$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{3,5}{3,7} = 0,97$		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{2,0}{2,1} = 0,95$	

Sarrasin, mêmes conditions d'expérience :

Sarrasin avec fer.		Sarrasin sans fer.	
CO ²	4,7	CO ²	2,5
O	15,0	O	18,1
$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{4,7}{4,9} = 0,94$		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{2,5}{2,6} = 0,92$	

Dans toutes ces expériences, le coefficient respiratoire est voisin de l'unité ; pour un même poids de feuilles, le coefficient est sensiblement le même, que les feuilles soient ou non chlorotiques.

Si nous comparons les quantités d'oxygène absorbé par le même poids de feuilles chlorotiques et le même poids de feuilles saines, nous obtenons le tableau suivant :

Feuilles normales.	Oxygène absorbé.	Feuilles chlorotiques.	Oxygène absorbé.
Blé.....	5,5 cc.	Blé.....	3,4 cc.
Maïs.....	4,5 —	Maïs.....	3,0 —
Lupin blanc...	5,6 —	Lupin blanc...	3,3 —
Radis.....	4,1 —	Radis.....	2,7 —
Pois.....	3,7 —	Pois.....	2,1 —
Sarrasin.....	4,9 —	Sarrasin.....	2,6 —

Ces chiffres mettent en évidence le fait que, chez les plantes qui sont devenues chlorotiques à la suite de l'absence du fer dans le milieu nutritif, l'intensité respiratoire est diminuée.

Pour les feuilles chlorotiques, l'absorption de l'oxygène est d'un tiers inférieure à celle des feuilles normalement colorées.

2° *Assimilation chlorophyllienne.*

Nous avons cherché quelle est l'influence du fer sur l'énergie assimilatrice.

Griffon (1) a fait développer du Maïs dans un milieu privé de fer et a étudié comparativement l'assimilation des feuilles chlorotiques et des feuilles normales. Il a observé que le rapport d'assimilation varie pour les feuilles chlorotiques entre 0,35 et 0,40.

Nos expériences ont été faites dans les conditions suivantes : exposition à la lumière directe pendant vingt-cinq minutes.

Expériences :

Blé. — Nous avons employé des fragments de la cinquième feuille. — Les plantes étaient à leur quarante-cinquième jour de végétation :

Blé avec fer.	Blé sans fer.
$\frac{O}{CO_2} = \frac{2,2}{2,4} = 0,91$	$\frac{O}{CO_2} = \frac{1,0}{1,1} = 0,90$

Maïs. — Plante au quarante-deuxième jour de son développement :

Maïs avec fer.	Maïs sans fer.
$\frac{O}{CO_2} = \frac{2,8}{2,7} = 1,04$	$\frac{O}{CO_2} = \frac{1,0}{0,9} = 1,1$

Lupin blanc. — Plante au quarante-neuvième jour de son développement, feuilles du sommet de la plante :

Lupin avec fer.	Lupin sans fer.
$\frac{O}{CO_2} = \frac{2,3}{2,5} = 0,92$	$\frac{O}{CO_2} = \frac{0,8}{0,8} = 1$

Sarrasin. — On prend les sixièmes feuilles. Les plantes ont quarante-cinq jours de végétation :

Sarrasin avec fer.	Sarrasin sans fer.
$\frac{O}{CO_2} = \frac{2,4}{2,3} = 1,04$	$\frac{O}{CO_2} = \frac{1,5}{1,6} = 0,93$

Pois. — Les feuilles chlorotiques sont très jaunes ; les plantes ont trente-neuf jours de végétation :

Pois avec fer.	Pois sans fer.
$\frac{O}{CO_2} = \frac{2,5}{2,4} = 1,04$	$\frac{O}{CO_2} = \frac{0,9}{0,8} = 1,1$

(1) Griffon, *Thèse Paris*, 1899, p. 97.

Radis. — Plante au quarante-cinquième jour de son développement.

$$\frac{O}{CO_2} = \frac{2,8}{2,8} = 1$$

$$\frac{O}{CO_2} = \frac{1,8}{1,9} = 0,99$$

Le coefficient d'assimilation est le même pour les feuilles chlorotiques et pour les feuilles saines. Il est voisin de l'unité ou légèrement supérieur à l'unité.

En rapprochant les chiffres qui donnent les quantités d'anhydride carbonique décomposé par les feuilles chlorotiques et par les feuilles saines, on obtient les tableaux suivants :

Plantes avec fer.			Plantes sans fer.		
	CO ₂ par cmq.	Quantité de CO ₂ décomposé.		CO ₂ par cmq.	Quantité de CO ₂ décomposé.
Blé.....	0,48	2,4	Blé.....	0,22	1,1
Maïs.....	0,54	2,7	Maïs.....	0,018	0,9
Lupin blanc....	0,50	2,5	Lupin blanc..	0,016	0,8
Sarrasin.....	0,46	2,3	Sarrasin.....	0,32	1,6
Pois.....	0,48	2,4	Pois.....	0,016	0,8
Radis.....	0,56	2,8	Radis.....	0,38	1,9

Ce tableau fait voir que les feuilles chlorotiques décomposent la moitié moins d'acide carbonique que les feuilles saines.

Le fer joue donc un rôle important dans l'assimilation ; c'est ainsi que pour les feuilles chlorotiques de Maïs, de Pois et de Lupin, l'énergie assimilatrice tombe à un tiers de ce qu'elle est pour les feuilles vertes.

Pour le Sarrasin, le Blé, le Radis chlorotiques, l'assimilation chlorophyllienne est de moitié moindre que pour les plantes normales.

3° Transpiration.

La composition chimique du sol a une grande influence sur la transpiration des plantes. D'après les expériences de Palladine (1) faites avec des cultures en milieu liquide, la quantité d'eau évaporée par les plantes dépend du degré de concentration de la solution et de la présence ou de l'absence de différents composés. C'est ainsi que les acides activent la transpiration et que les bases la ralentissent.

(1) Palladine, *Physiologie des plantes*. Paris, 1902, p. 101.

Dans nos cultures en solutions nutritives, nous avons observé qu'à partir du moment où la plante n'est plus capable de produire de la chlorophylle, par suite de l'absence du fer dans son milieu alimentaire, la quantité d'eau absorbée est moins grande.

Pour nous rendre compte des différences d'absorption, nous avons cultivé plusieurs espèces de plantes, dans les mêmes conditions (concentration des solutions, âge, humidité, température et éclairage), et dans des solutions de Knop, les unes renfermant du fer, les autres en étant privées.

Quand les plantes, vivant en milieu sans fer, sont devenues chlorotiques, nous les avons mises en expérience. Nous avons pris deux pieds de Maïs, l'un chlorotique pesant 3^{gr},62 (poids frais) et l'autre normal pesant 4^{gr},65, et nous avons observé la quantité d'eau absorbée pendant trois jours.

Le Maïs normal a absorbé 104 centigrammes d'eau, et le Maïs chlorotique 72 centigrammes.

Si l'on rapporte la quantité d'eau absorbée au poids de la plante, pour d'autres espèces, nous avons les résultats suivants :

	Poids des plantes.	Quantité d'eau absorbée pendant trois jours.
Sarrasin avec fer.....	2 ^{gr} ,73	78 cc.
Sarrasin sans fer.....	2 ^{gr} ,15	50 —
Radis avec fer.....	2 ^{gr} ,45	80 —
Radis sans fer.....	2 ^{gr} ,20	59 —
Lupin blanc avec fer...	3 ^{gr} ,77	108 —
Lupin blanc sans fer...	3 ^{gr} ,18	82 —
Pois avec fer.....	2 ^{gr} ,87	62 —
Pois sans fer.....	1 ^{gr} ,57	35 —

De ces expériences il résulte que toutes les plantes devenues chlorotiques par l'absence de fer absorbent moins d'eau que les plantes normales, pour un même poids de matières vivantes.

Les plantes chlorotiques ont un poids inférieur aux plantes normales du même âge ; cela est dû à ce que ces plantes ont les feuilles plus minces et sont moins riches en réserves.

Nous avons trouvé entre la transpiration des plantes chlorotiques et des plantes normales les mêmes différences que pour l'absorption. Nous nous sommes servi de la méthode de la pesée.

Nous avons employé les mêmes plantes entières; elles étaient exposées à la lumière directe à une température de 23° C. pendant deux heures.

Les résultats obtenus sont les suivants :

	Poids de la plante.	Quantité d'eau évaporée pendant deux heures.
Mais avec fer.....	4 ^{gr} ,65	11 ^{gr} ,55
Mais chlorotique.....	3 ^{gr} ,62	8 ^{gr} ,70
Sarrasin avec fer.....	2 ^{gr} ,73	7 ^{gr} ,59
Sarrasin chlorotique....	2 ^{gr} ,45	6 ^{gr} ,15
Radis avec fer.....	2 ^{gr} ,45	10 ^{gr} ,85
Radis chlorotique.....	2 ^{gr} ,20	7 ^{gr} ,08
Lupin blanc avec fer....	3 ^{gr} ,77	10 ^{gr} ,08
Lupin blanc chlorotique.	3 ^{gr} ,48	7 ^{gr} ,55
Pois avec fer.....	2 ^{gr} ,87	9 ^{gr} ,10
Pois chlorotique.....	1 ^{gr} ,57	5 ^{gr} ,65

Les plantes chlorotiques émettent moins d'eau que les plantes normales. La diminution de la transpiration des plantes chlorotiques est causée par l'absence du fer. Nous avons recherché s'il y avait une différence dans la transpiration des plantes cultivées sans fer, avant l'apparition de la chlorose, et la transpiration des plantes normales cultivées en milieu renfermant du fer. Nous résumons dans le tableau suivant les résultats de ces expériences.

Les plantes qui nous ont servi pour ces expériences étaient au vingtième jour de leur développement.

	Poids des plantes.	Quantité d'eau évaporée pendant deux heures.
Mais avec fer.....	2 ^{gr} ,09	7 ^{gr} ,65
Mais sans fer.....	2 ^{gr} ,15	7 ^{gr} ,40
Sarrasin avec fer.....	1 ^{gr} ,35	5 ^{gr} ,20
Sarrasin sans fer.....	1 ^{gr} ,40	5 ^{gr} ,85
Lupin avec fer.....	2 ^{gr} ,20	7 ^{gr} ,80
Lupin sans fer....	2 ^{gr} ,25	7 ^{gr} ,45
Chanvre avec fer.....	1 ^{gr} ,66	4 ^{gr} ,84
Chanvre sans fer.....	1 ^{gr} ,40	4 ^{gr} ,90
Pois avec fer.....	1 ^{gr} ,05	5 ^{gr} ,18
Pois sans fer.....	1 ^{gr} ,42	5 ^{gr} ,55

Ces expériences montrent que ces différentes espèces, au début de la végétation, émettent la même quantité d'eau quand elles sont cultivées dans des solutions avec ou sans fer; et d'autre part nous avons vu que les plantes transpirent moins quand elles deviennent chlorotiques; l'influence qu'exercent la

présence ou l'absence du fer dans l'alimentation de la plante ne manifesterait ses effets sur la transpiration qu'à partir du moment où la plante devient chlorotique, c'est-à-dire quand la plante a épuisé toutes les réserves de fer contenues dans sa graine.

Chez les plantes devenues chlorotiques par l'absence du fer dans leurs milieux nutritifs, malgré une assimilation affaiblie, la transpiration est plus faible que pour les plantes normales.

On peut supposer que, chez ces plantes, l'absence du fer produit la chlorose, diminue la production des réserves et la nécessité d'absorption d'eau pour la plante.

CONCLUSIONS. — Si, après l'étude des différentes espèces cultivées en solutions nutritives, pourvues ou privées de fer, on compare les modifications que l'absence du fer apporte à leur développement, à leur respiration, à leur assimilation et à leur transpiration, on arrive à ces conclusions :

1° En l'absence du fer, les différentes espèces étudiées ont été incapables de se développer complètement ;

2° Dans ces conditions, la chlorose apparaît toujours à un âge plus ou moins avancé du développement de la plante ; l'énergie assimilatrice est diminuée ; elle peut être réduite à un tiers ;

3° Les plantes chlorotiques respirent avec une moindre énergie ; le quotient respiratoire est resté inférieur à l'unité ou voisin de l'unité ;

4° La transpiration est moins active chez les plantes que l'absence du fer a rendues chlorotiques.

II. — LA POTASSE

1. Présence de la potasse dans les végétaux.

La potasse est un des corps indispensables au développement des végétaux ; son importance pour la vie des cellules est établie d'une façon définitive. Les cendres de tous les végétaux en contiennent des quantités variables.

L'analyse des cendres de différents végétaux a permis de voir que les quantités de potasse varient suivant les espèces, suivant les tissus d'une même plante et suivant le milieu dans lequel elles se sont développées. Les cendres des plantes marines sont généralement peu riches en potasse ; d'autres plantes en contiennent des proportions très élevées.

Liebig (1) appelle *Kalipflanzen* les plantes riches en potasse ; il cite parmi celle-ci la Pomme de terre, la Betterave, le Tabac, la Vigne, le Sarrasin, la Luzerne, le Pois ; dans ces plantes, les sels de potasse peuvent atteindre de 20 à 30 pour 1 000 de substances sèches.

Dans les végétaux, la potasse se trouve combinée aux acides organiques, les acides malique, tartrique, citrique et oxalique, ou encore combinée à l'acide phosphorique, comme dans les graines, ou sous forme d'azotate de potasse d'après les recherches de MM. Berthelot et André (2), de Capus et enfin de Dehérain.

Le protoplasma vivant a une réaction alcaline due en grande partie à la présence de la potasse. Les substances qui constituent le plasma intracellulaire sont riches en sels de potasse (3).

Le parenchyme cortical, la moelle, le protoplasma vert, les fruits sont les parties de la plante qui contiennent le plus de potasse.

(1) Liebig, *Chemie in ihren Anwendung auf Ag.*, p. 722 et suiv.

(2) *Comptes Rendus de l'Acad. des Sc.*, t. XCIV, p. 550 et 591.

(3) A. Gautier, *Chimie biologique*, 2^e éd., p. 722.

Généralement les tissus à travers lesquels se fait la migration des hydrocarbonés sont riches en sels de potasse (1).

D'après les observations d'Hellriegel et Wilfarth (2), l'accumulation des réserves hydrocarbonées s'accompagne d'une affluence de potasse dans les Betteraves à sucre, les Pommes de terre et les Graminées.

Là où il doit se produire un développement rapide, on trouve toujours une accumulation de potasse et de phosphore (3).

La quantité de potasse augmente pendant la formation des graines, suivant la remarque de Corenwinder (4).

Læw (5) a trouvé dans les grains de pollen du Pin une proportion de 50,7 p. 100 de potasse et seulement 30,08 p. 100 d'acide phosphorique. Wolf (6), dans ses analyses de graines de Légumineuses et de Graminées, trouve dans les premières 120 p. 100 et dans les secondes 50 p. 100 de potasse.

Georges Ville (7) a montré la nécessité de la potasse pour le développement du Blé. Cultivant cette plante dans des terrains sans potasse, il a constaté que la végétation était chétive et languissante. La forme des plantes révèle un caractère inusité : la tige ne se dresse plus verticalement ; elle se contourne sur elle-même et s'incline à la manière des plantes rampantes. Il affirme que la potasse, pour être absorbée, a besoin de la présence de l'acide phosphorique. Knop, dans ses nombreuses recherches sur la nutrition minérale des plantes, a établi la nécessité de la potasse pour la vie des végétaux, et il arrive à la conclusion que le nitrate de potasse est le sel qui convient le mieux aux cultures en milieu liquide.

La nécessité de la potasse dans les milieux nutritifs, pour le développement des végétaux inférieurs, a été prouvée par les travaux de Pasteur et Mayer, de Élian (8), de Stern (9) et

(1) Liebig, *Die Chemie in ihren Andv.*, — Nobbe, *Land. Vers. Stat.*, t. XIII.

(2) *Gelbe Hefte*, 1897, p. 690. — Ad. Mayer, *Agric. Chem.*, p. 295.

(3) De Saussure, *Recherches chimiques*, 1804, p. 283. — Schimper, *Bot. Zeitung*, 1888.

(4) Corenwinder, *Comptes Rendus*, t. XLV.

(5) Læw, *The physiological role of mineral*, p. 22, 1899.

(6) Cité d'après Læw, p. 22.

(7) Georges Ville, *Comptes Rendus*, t. LI, 1860.

(8) Elia, *Centralbl. für Bakt.*, t. XV, 1893.

(9) Stern, *Proc. of the chemical Society*, 1898.

Benecke (1) pour la levure de bière. Molisch a montré la nécessité de la potasse pour les Algues ; Raulin, pour l'*Aspergillus* ; Paul Becquerel, pour le protonéma des Mousses.

Afin d'établir le rôle de la potasse dans la végétation, Nobbe, Schröder et Erdmann (2) ont cultivé le Sarrasin, d'une part, dans une solution nutritive contenant les sels suivants : nitrate de chaux, chlorure de potassium, sulfate de magnésium, phosphate de potasse et phosphate de fer ; et, d'autre part, dans une solution sans potasse qui comprenait : nitrate de chaux, sulfate de magnésie, acide chlorhydrique et phosphate de fer.

Les deux solutions étaient chimiquement équivalentes. Ils ont trouvé que les plantes cultivées sans potasse ne se développent pas plus que celles qui végètent dans l'eau distillée. Dans ces conditions, les plantes de Sarrasin n'atteignent que 2 centimètres de hauteur. La formation de l'amidon n'a pas lieu.

En ajoutant du chlorure de potasse au milieu nutritif privé de potasse, ils ont vu, au bout du deuxième jour, l'amidon apparaître dans les feuilles.

Ces expériences ont permis de conclure à la nécessité de la potasse dans le développement des plantes et a fait voir son rôle dans la production de l'amidon.

Les observations microscopiques de ces auteurs ont mis en évidence l'importance de la potasse dans la migration de l'amidon.

Lupke (3), en cultivant le Haricot en l'absence de potasse, a observé la production et la migration de l'amidon. Ces Légumineuses ont dans leurs cotylédons de grandes réserves de potasse.

En dehors de la synthèse des hydrocarbures, Lœw (4) croit pouvoir attribuer à la potasse un rôle dans la formation des matières protéiques.

Les Champignons ont besoin, pour se développer complètement, en plus d'une alimentation riche en matière hydrocarbonée, de la potasse. Pfeffer (5) soutient la même opinion ; il a constaté qu'on ne peut extraire d'une cellule morte toute la

(1) Benecke, *Botanische Zeitung*, t. VI, 1896.

(2) Nobbe, Schröder, Erdmann, *Land. Versuch. Stat.*, XII, 1870.

(3) Lupke, *Landw. Jahrb.*, 1888, p. 887.

(4) Lœw, *loc. cit.*, p. 21.

(5) Pfeffer, *Pflanzen Physiologie*, 1895, p. 417.

quantité de potasse, ni par l'eau, ni par une solution acide avec laquelle la potasse forme un sel.

Depuis que Liebig, en 1840, émit l'idée de la possibilité de substitution d'une base par une autre, on a fait de nombreuses recherches pour savoir si la potasse pouvait être remplacée, soit totalement, soit en partie, par la soude, le rubidium, le lithium et le cæsium, métaux voisins par leurs affinités chimiques.

Mais les travaux de Knop (1) ont fait voir que la potasse dans une solution nutritive ne peut être remplacée ni par la soude, ni par l'ammoniaque. Stahl et Schröder (2) ont montré que le sodium, malgré son abondance dans certains végétaux, était incapable de remplacer la potasse dans ses fonctions physiologiques. Wagner et Wolf admettent que les sels de sodium peuvent remplacer dans une certaine mesure les sels de potassium, car leur pouvoir osmotique et leur pouvoir neutralisant sont les mêmes. Bierner et Lucanus (3) ont montré que pour l'Orge la potasse ne peut être remplacée ni par le cæsium ni par le rubidium. Nobbe, Erdmann et Schröder (4) ont vu le Sarrasin dépérir dans une solution où l'azotate de potasse est remplacé par l'azotate de lithium, rubidium et cæsium. Pour les végétaux inférieurs, Algues et Champignons, la potasse ne peut être remplacée dans leur alimentation. Les recherches de Nægeli, de Molisch (5), de Stern (6) l'ont démontré. D'après Benecke (7), les Cyanophycées se développent normalement en présence de la soude. Cet auteur a obtenu chez les champignons une augmentation de substance sèche en remplaçant la potasse par le rubidium ; dans ces conditions, il n'y a pas eu production de spores. Pfeffer, en étudiant le pouvoir chimiotactique des sels alcalins sur les bactéries, a trouvé que les sels de potasse sont les plus actifs. Nous avons vu que la potasse est indispensable à tous les végétaux et ne peut être remplacée par

(1) Knop, *Versuch. Stat.*, t. V, 1863, p. 94.

(2) *Journal für Land.*, vol. XVII.

(3) *Land. Versuch. Station*, t. VIII, 1866, p. 128.

(4) *Loc. cit.*

(5) *Centralbl. für Agrik. Chemie*, 1898, p. 210.

(6) *Proc. of the chem. Society*, 1898, p. 182.

(7) Benecke, *Botanische Zeit.* t. LVI, p. 83.

aucun des métaux avec lesquels elle a le plus de ressemblance chimique ; on a pensé que cette action spécifique des sels de potasse était due à ses propriétés chimiques, et on a surtout recherché les différences d'action des sels de potassium et des sels de sodium. Lerch et Nietzki (1) observent que l'oxyde de carbone peut être condensé par le potassium en un dérivé du benzène, le triquinol ; le sodium ne peut produire cette condensation. Knop et Michaël mentionnent la propriété de certains sels de potassium de transformer l'aldéhyde éthylique en aldol ; les sels de sodium produisent dans les mêmes conditions du croton-aldéhyde. L'hydroxyde de potasse décompose plus rapidement le peroxyde d'hydrogène que l'hydroxyde de soude. En faisant bouillir le potassium avec le triphénylméthane, il se produit un dégagement d'hydrogène ; avec le sodium, il ne s'en produit pas.

Nægeli (2) pense que la différence dans le mode de cristallisation des sels de potasse et des sels de soude peut expliquer leur action physiologique différente. Les sels de potasse ne retiennent pas d'eau de cristallisation, ce qui favorise les actions catalytiques ; les sels de soude retenant de l'eau de cristallisation, leurs molécules ne peuvent venir en contact immédiat, ce qui empêcherait la transmission effective des vibrations. Ces recherches, quoique très importantes, ne rendent pas compte, d'une façon définitive, de l'action spécifique des sels de potasse.

2. Action de la potasse sur les échanges gazeux.

Pour étudier l'influence de la potasse sur les échanges gazeux des plantes, j'ai cultivé du Lupin, du Maïs, du Blé et du Sarrasin dans les solutions nutritives que Nobbe, Schröder et Erdmann ont employées dans leurs recherches sur le Sarrasin.

En l'absence de potasse, seul le Lupin a un développement plus grand que lorsqu'il est cultivé dans l'eau distillée ; il a produit six feuilles avec entre-nœuds très rapprochés ; il n'a pas fleuri. Dans les mêmes conditions, le Sarrasin a produit quatre ou cinq feuilles ; les supérieures sont petites, et,

(1) Cité d'après Lœw, *The physiological*, p. 26.

(2) *Sitzungsberichte des bayerischen Acad. Wis.*, 1873.

pendant leur développement, les feuilles inférieures présentent des taches jaunes et meurent 1.

Le Maïs développe trois ou rarement quatre feuilles qui sont restées vertes.

L'absence de la potasse a produit la verse du Blé: les tiges sont molles, les feuilles d'un vert clair, au nombre de cinq à six.

1° *Respiration.*

J'ai étudié comparativement la respiration des plantes cultivées en solution nutritive renfermant de la potasse et la respiration de ces mêmes plantes sans potasse.

Un même poids de feuilles, 0^{gr}.20, a été placé pendant douze heures à l'obscurité; nous avons obtenu les résultats suivants :

Pour le Lupin blanc, après douze heures de respiration :

Lupin avec potasse.	Lupin sans potasse.
CO ₂ 4,9	CO ₂ 3,4
O 15,17	O 17,0
$\frac{CO_2}{O} = \frac{4,9}{20} = 0,245$	$\frac{CO_2}{O} = \frac{3,4}{17} = 0,2$

Pour le Maïs, mêmes conditions d'expérience :

Maïs avec potasse.	Maïs sans potasse.
CO ₂ 3,7	CO ₂ 2,9
O 16,8	O 17,5
$\frac{CO_2}{O} = \frac{3,7}{16,8} = 0,22$	$\frac{CO_2}{O} = \frac{2,9}{17,5} = 0,166$

Pour le Blé :

Blé avec potasse.	Blé sans potasse.
CO ₂ 4,6	CO ₂ 3,6
O 15,8	O 17,0
$\frac{CO_2}{O} = \frac{4,6}{15,8} = 0,291$	$\frac{CO_2}{O} = \frac{3,6}{17} = 0,212$

Pour le Sarrasin :

Sarrasin avec potasse.	Sarrasin sans potasse.
CO ₂ 4,0	CO ₂ 2,9
O 15,5	O 17,8
$\frac{CO_2}{O} = \frac{4,0}{15,5} = 0,258$	$\frac{CO_2}{O} = \frac{2,9}{17,8} = 0,163$

1. Schimper explique ce fait en admettant que la potasse disparaît des feuilles inférieures pour aller vers les points végétatifs et sert à édifier les nouvelles feuilles (*Flora*, 1890, p. 207).

Le quotient respiratoire pour les plantes cultivées avec ou sans potasse est sensiblement le même; il est généralement inférieur à l'unité. L'intensité des échanges respiratoires est diminuée chez les plantes sans potasse. En effet, si l'on compare la quantité d'oxygène absorbé par 20 centigrammes de feuilles plantes sans potasse à la quantité d'oxygène absorbé par le même poids de plantes avec potasse, on obtient les résultats suivants :

	Oxygène absorbé par 20 ^{cs} ,20 de feuilles.
Lupin blanc avec potasse.....	5,0 cc.
Lupin blanc sans potasse.....	3,7 —
Maïs avec potasse.....	3,9 —
Maïs sans potasse.....	3,2 —
Blé avec potasse.....	4,9 —
Blé sans potasse.....	3,7 —
Sarrasin avec potasse.....	4,2 —
Sarrasin sans potasse.....	3,1 —

La respiration des plantes sans potasse est moins intense que la respiration des plantes avec potasse.

L'absence de la potasse ne fait pas varier le quotient respiratoire.

2° Assimilation.

On sait que les plantes qui se développent dans un milieu privé de potasse sont incapables de produire de l'amidon. J'ai cherché si l'assimilation de ces plantes varie sous l'influence du manque de la potasse. Les feuilles étaient exposées à la lumière directe pendant vingt-cinq minutes; nous avons obtenu les résultats suivants :

Plantes avec potasse.	Plantes sans potasse.
Lupin blanc... $\frac{O}{CO_2} = \frac{2,5}{2,6} = 0,96$	Lupin blanc... $\frac{O}{CO_2} = \frac{1,8}{2,0} = 0,90$
Maïs..... $\frac{O}{CO_2} = \frac{2,3}{2,1} = 1,08$	Maïs..... $\frac{O}{CO_2} = \frac{1,5}{1,6} = 0,93$
Blé..... $\frac{O}{CO_2} = \frac{1,8}{1,6} = 1,1$	Blé..... $\frac{O}{CO_2} = \frac{0,8}{0,9} = 0,89$
Sarrasin..... $\frac{O}{CO_2} = \frac{2,5}{2,5} = 1$	Sarrasin..... $\frac{O}{CO_2} = \frac{1,9}{1,7} = 1,1$

Nous voyons que le rapport entre l'acide carbonique absorbé et l'oxygène dégagé est sensiblement égal à l'unité. La quantité d'acide carbonique décomposé par les plantes sans potasse est inférieure à la quantité d'acide carbonique décomposé par la même plante ayant reçu de la potasse. Cela ressort du tableau suivant, dans lequel nous avons groupé les chiffres représentant le volume d'acide carbonique décomposé par 1 centimètre carré de feuille :

	CO ² décomposé.	CO ² décomposé par cmq de feuilles.
Lupin blanc avec potasse.....	2,6 cc.	0,52
Lupin blanc sans potasse.....	2,0 —	0,40
Maïs avec potasse.....	2,1 —	0,42
Maïs sans potasse.....	1,6 —	0,32
Blé avec potasse.....	1,6 —	0,32
Blé sans potasse.....	0,9 —	0,18
Sarrasin avec potasse.....	2,5 —	0,50
Sarrasin sans potasse.....	1,7 —	0,24

CONCLUSIONS. — Dans nos expériences, l'absence de la potasse a empêché le développement des plantes.

La respiration des plantes sans potasse est moins intense que celle des plantes avec potasse.

La valeur du quotient respiratoire n'est pas influencée par l'absence de la potasse.

L'absence de la potasse dans le milieu nutritif n'a pas d'influence sur la grandeur du rapport entre l'acide carbonique absorbé et l'oxygène dégagé par la plante. Ce rapport est voisin de l'unité et quelquefois supérieur. Les plantes sans potasse décomposent pour une même surface de feuilles moins d'acide carbonique; elles ont donc une assimilation moins intense. Cette diminution de l'intensité assimilatrice nous paraît incapable d'expliquer l'incapacité pour les plantes sans potasse de produire de l'amidon, car cette assimilation, quoique affaiblie, a encore une certaine valeur.

III. — LE PHOSPHORE.

1. Présence du phosphore dans les végétaux.

La présence du phosphore a été signalée dans tous les végétaux ; les travaux de Saussure, de Boussingault, de G. Ville, de Ad. Mayer ont montré l'importance du phosphore pour le développement des plantes. Boussingault (1) a observé qu'il y a une relation entre la proportion d'azote et l'acide phosphorique contenu dans les substances végétales. Corenwinder (2) a constaté que dans les bourgeons naissants il y a une forte proportion de matières azotées accompagnées d'une grande quantité d'acide phosphorique.

De Saussure (3), Garreau (4), Isidore Pierre (5), Corenwinder (6) ont montré qu'à la floraison les phosphates quittent les feuilles et les organes jeunes pour aller s'accumuler dans les graines. A la chute des feuilles, les phosphates se dirigent vers les organes souterrains. MM. Berthelot et André (7), dans leurs travaux sur l'*Amarantus caudatus*, ont observé que, jusqu'au moment de la floraison, l'absorption du phosphore augmente dans les plantes, ainsi que le poids des matières azotées ; puis qu'elle s'arrête et qu'il se produit une accumulation d'acide phosphorique dans l'inflorescence.

M. André (8) a étudié les variations de la matière organique et de la matière minérale pendant la germination du Haricot d'Espagne ; il arrête ses expériences au moment où

(1) Boussingault, *Économie rurale et Annales de chim. et de phys.* t. L, p. 539.

(2) Corenwinder, *Ann. des Sc. nat.*, t. XIV, p. 39.

(3) De Saussure, *Recherches chimiques sur la végét.*, p. 261.

(4) *Ann. des Sc. nat.*, 1869.

(5) *Mémoires sur le Colza* (*Ann. de chim. et de phys.*, 1860).

(6) *Ann. des Sc. nat.*, t. LX, p. 105.

(7) *Chim. végét. et agric.*, t. III, p. 27 à 38.

(8) *Comptes Rendus de l'Acad. des Sc.*, t. CXXX, p. 728, 1900.



la plantule pèse autant que la graine: il a vu que les courbes d'absorption de l'azote et de l'acide phosphorique sont parallèles.

MM. Berthelot et André (1) ont montré que le phosphore se trouve dans les plantes à l'état de phosphates et de phosphites, à l'état organique sous forme de composés éthers et sous forme de combinaison de triéthylphosphine.

M. Posternak (2) a isolé dans les graines de Lupin de l'oxyméthylphosphate.

Boussingault, G. Ville ont montré que les plantes ne se développaient pas dans des milieux privés de phosphore. La présence du phosphore dans la chlorophylle (3), dans les nucléoprotéines et les lécithines explique son importance pour le développement des plantes.

M. Læw (4) a étudié le rôle du phosphore sur des filaments de Spirogyre; il a constaté qu'en l'absence de phosphore la plante se développe très peu, qu'elle devient jaune et que la division cellulaire s'arrête. Il en conclut que le phosphore est nécessaire à la formation de la chlorophylle et à la division nucléaire. Stoklasa arrive à la même conclusion.

On suppose que le phosphore à l'état de lécithine joue un grand rôle physiologique. Libermann a montré que dans la chlorophylle et la lécithine on trouve le phosphore à l'état d'acide orthophosphorique.

Stoklasa (5) a trouvé dans les chlorolécithines 4 à 5 p. 100 d'acide phosphorique. Maxwell a observé que, pendant le premier stade de la germination, l'accumulation des lécithines correspond à la diminution des graisses dans les graines. Muntz a vu la quantité d'acides gras libres augmenter pendant la germination. Pendant son développement, l'embryon est capable de produire de la lécithine, bien que la respiration soit plus active.

Strasburger et Schmitz, en se basant sur la grande quantité

(1) *Comptes Rendus de l'Acad. des Sc.*, t. CV, p. 1217.

(2) *Revue gén. de Bot.*, 1900, p. 5.

(3) Arm. Gautier a trouvé dans la chlorophylle cristallisée 18,37 p. 100 de phosphore.

(4) O. Læw, *Biologisches Centralblatt*, 1891, p. 9.

(5) *Acad. der Wiss. Wien.*, 1896.

d'acide phosphorique trouvée dans la protéine des graines, ont émis l'hypothèse que la nucléine serait le producteur des matières protéiques.

D'après Posternak (1), l'acide phosphorique, dans les feuilles, combine à l'aldéhyde formique pour former de l'acide oxyméthyl-phosphorique, qui, à son tour, sert à la constitution des nucléines.

Ivanoff (2), étudiant l'origine et la migration des combinaisons phosphorées, conclut que la respiration n'a pas pour conséquence la destruction des combinaisons organiques du phosphore, mais qu'au contraire celles-ci sont employées par les plantes pendant leur croissance.

Pour sa nutrition, la plante utilise les sels phosphoriques contenant le plus d'oxygène, les phosphates solubles de potasse, de soude et d'ammonium.

Les phosphates insolubles de calcium, de magnésium et d'oxyde de fer sont absorbés lorsqu'ils sont solubilisés par l'eau contenant l'acide carbonique ou par le suc des racines.

On a essayé de remplacer l'acide phosphorique dans l'alimentation des plantes par l'acide arsénique. M. Bouilhac (3) a obtenu le maximum de rendement en cultivant une Algue d'eau douce, le *Stichococcus bacillaria*, dans des solutions renfermant de l'acide arsénique au millième; il avait supprimé le phosphore.

Il n'a pu cultiver en solution arsenicale aucune plante phanérogame.

Stoklasa (4) a réussi à cultiver de l'Avoine dans des solutions renfermant à la fois de l'acide phosphorique et de l'acide arsénique; il conclut de ses recherches que l'acide arsénique n'est utilisé qu'après la disparition de l'acide phosphorique.

(1) Posternak, *loc. cit.*

(2) Ivanoff, *Jahrb. Wissen. Bot.*, t. XXXVI, p. 352.

(3) Bouilhac, *Ann. agronomiques*, t. XXVI, p. 561.

(4) Stoklasa, cité d'après Dehérain, *Chimie agricole*, 1902, p. 170.

2. Influence du phosphore sur la respiration et l'assimilation.

Les plantes qui m'ont servi pour l'étude de l'influence du phosphore sur la respiration et l'assimilation ont été cultivées, les unes dans une solution nutritive de Knop, et d'autres dans la même solution dont on a retiré le phosphate de potasse ; dans les deux solutions, le fer était donné à l'état de sulfate. Les plantes employées sont le Maïs, le Blé, le Sarrasin et le Lupin blanc.

Dans la dissolution sans phosphore, pour le Maïs les trois premières feuilles ont été vertes, les suivantes sont devenues jaunes.

Le Blé, dans les mêmes conditions, a eu une tige rigide, avec cinq feuilles vertes ; les autres feuilles étaient de coloration jaune pâle.

Le Sarrasin développe six ou sept feuilles dont les trois dernières sont petites et d'un vert jaunâtre.

Le Lupin s'est peu développé ; il a produit quatre feuilles normales ; les autres feuilles étaient jaunes.

1° *Respiration.*

Pour étudier l'influence du phosphore sur la respiration, j'ai pris un poids de 20 centigrammes de feuilles de plante privée de phosphate. Je choisissais les dernières feuilles, sur lesquelles l'absence du phosphore s'était fait le plus sentir.

Pour avoir un terme de comparaison, je mettais en même temps en expérience un même poids de 20 centigrammes de feuilles saines.

J'ai employé les mêmes procédés d'expérience que pour l'étude de l'influence du fer et de la potasse sur la respiration.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Pour le Maïs, après douze heures de respiration :

Maïs avec phosphore.		Maïs sans phosphore.	
CO ²	3,8	CO ²	2,2
O	16,8	O	18,2
$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{3,8}{16,8} = 0,226$		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{2,2}{18,2} = 0,121$	

Pour le Blé :

Blé avec phosphore.		Blé sans phosphore.	
CO ²	4,7	CO ²	2,8
O	15,07	O	17,7
$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{4,7}{15,07} = 0,94$		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{2,8}{17,7} = 0,93$	

Pour le Sarrasin :

Sarrasin avec phosphore.		Sarrasin sans phosphore.	
CO ²	3,8	CO ²	2,1
O	16,6	O	18,2
$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{3,8}{16,6} = 0,95$		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{2,1}{18,2} = 0,84$	

Pour le Lupin blanc :

Lupin blanc avec phosphore.		Lupin blanc sans phosphore.	
CO ²	4,3	CO ²	3,0
O	16,2	O	17,4
$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{4,3}{16,2} = 0,95$		$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = \frac{3,0}{17,4} = 0,90$	

Le quotient respiratoire est voisin de l'unité pour les plantes qui ont reçu du phosphore et pour les plantes qui se sont développées en son absence.

L'intensité des échanges gazeux seule a été diminuée pour les plantes cultivées sans phosphore. La quantité d'oxygène absorbé par 20 centigrammes de feuilles est moins grande pour les plantes privées de phosphore que pour celles qui en ont eu à leur disposition.

En groupant les chiffres représentant les quantités d'oxygène absorbé par 20 centigrammes de feuilles, on obtient le tableau suivant :

	Oxygène absorbé par 0 ^{er} ,20 de feuilles.
Maïs avec phosphore.....	3,9
Maïs sans phosphore.....	2,5
Blé avec phosphore.....	5,0
Blé sans phosphore.....	3,0
Lupin blanc avec phosphore.....	4,5
Lupin blanc sans phosphore.....	3,3
Sarrasin avec phosphore.....	4,1
Sarrasin sans phosphore.....	2,3

L'absence du phosphore dans la nutrition de ces plantes a produit une diminution des échanges gazeux pendant la respiration.

2° Assimilation.

J'ai cherché si l'absence du phosphore dans l'alimentation des plantes avait une influence sur l'assimilation.

Les feuilles étaient exposées pendant vingt minutes à la lumière directe. En faisant assimiler comparativement des feuilles de plantes ayant reçu du phosphore et des feuilles de plantes qui en avaient été privées, j'ai obtenu les résultats suivants :

Maïs avec phosphore.....	$\frac{O}{CO^2} = \frac{2,3}{2,5} = 0,92$
Maïs sans phosphore.....	$\frac{O}{CO^2} = \frac{1,6}{1,7} = 0,94$
Blé avec phosphore.....	$\frac{O}{CO^2} = \frac{2,2}{2,4} = 0,94$
Blé sans phosphore.....	$\frac{O}{CO^2} = \frac{1,2}{1,3} = 0,92$
Sarrasin avec phosphore.....	$\frac{O}{CO^2} = \frac{2,7}{2,6} = 1,03$
Sarrasin sans phosphore.....	$\frac{O}{CO^2} = \frac{1,8}{1,7} = 1,05$
Lupin blanc avec phosphore.....	$\frac{O}{CO^2} = \frac{2,6}{2,6} = 1$
Lupin blanc sans phosphore.....	$\frac{O}{CO^2} = \frac{1,2}{1,3} = 0,92$

Si nous calculons la quantité d'acide carbonique, décomposé par centimètre carré de feuilles, nous obtenons les chiffres suivants :

	CO ² décomposé par la surface des feuilles en exp.	CO ² décomposé par cmq.
Maïs avec phosphore.....	2,5	0,50
Maïs sans phosphore.....	1,7	0,35
Blé avec phosphore.....	2,4	0,48
Blé sans phosphore.....	1,3	0,26
Sarrasin avec phosphore.....	2,6	0,52
Sarrasin sans phosphore.....	1,7	0,34
Lupin blanc avec phosphore.....	2,6	0,52
Lupin blanc sans phosphore.....	1,3	0,26

Ces expériences démontrent que le rapport de l'acide carbonique absorbé et de l'oxygène dégagé est voisin de l'unité et qu'il est à peu près le même pour les plantes qui ont reçu du phosphore que pour celles qui en ont été privées.

La quantité d'acide carbonique décomposé par centimètre carré de feuilles privées de phosphore est inférieure à la quantité d'acide carbonique décomposé par la même surface de feuilles avec phosphore.

CONCLUSIONS. — Le phosphore n'a pas d'influence sur le quotient respiratoire; les plantes qui en sont privées ont l'intensité respiratoire diminuée.

Un centimètre carré de feuilles provenant de plantes privées de phosphore décompose, pendant le même temps, moins d'acide carbonique que la même surface provenant de plantes qui ont reçu du phosphore.

En l'absence du phosphore, les plantes ont un développement incomplet, leurs feuilles jaunissent, la formation de la chlorophylle est entravée.

CONCLUSIONS DE LA PREMIÈRE PARTIE

L'étude expérimentale de l'influence du fer, de la potasse, du phosphore sur la respiration et l'assimilation des plantes nous a permis d'arriver aux conclusions suivantes :

I. L'absence de l'un de ces éléments dans le milieu nutritif produit une diminution de l'intensité des échanges gazeux dans la respiration et l'assimilation chlorophyllienne des plantes.

II. Le quotient respiratoire n'est pas influencé par l'absence de l'un de ces éléments ; il est voisin de l'unité.

III. Le rapport de la quantité d'acide carbonique absorbé à la quantité d'oxygène dégagé pendant l'assimilation n'est pas influencé par l'absence de l'un de ces éléments ; il se rapproche de l'unité, quelquefois il est supérieur à l'unité.

IV. La suppression du fer rend les plantes chlorotiques ; celles-ci reverdissent quand on restitue au milieu nutritif le fer dont il avait été privé.

V. La respiration des plantes chlorotiques est ralentie. Un poids donné de plantes chlorotiques évapore environ un tiers moins d'eau qu'un même poids de plantes normales.

DEUXIÈME PARTIE

MODIFICATIONS DE STRUCTURE

Pour étudier l'influence de la potasse, du phosphore et du fer sur la structure des plantes, je me suis servi du liquide de Knop, qui, par litre d'eau distillée, renferme les proportions de sels suivantes :

Azotate de chaux.....	1 gr.
Azotate de potasse	0,25 centigr.
Sulfate de magnésie.....	0,25 —
Phosphates de potasse.....	0,25 —
Phosphates de peroxyde de fer.....	Traces.

Je diluais ces solutions au 1/2000. Cette dilution est nécessaire pour la première période de la végétation.

Dans ce liquide, on peut cultiver des plantes ; celles-ci peuvent arriver à leur développement complet et produire des graines.

Je choisissais des graines aussi semblables que possible ; ces graines provenaient de plantes cultivées en pleine terre. Je faisais d'abord germer les graines dans de l'eau, puis je les transportais dans les solutions de Knop. Je les laissais s'y développer pendant trente-cinq jours. J'ai fixé à ce temps la durée de l'expérience parce que j'ai remarqué qu'après le trente-cinquième jour les plantes, vivant en milieu privé de potasse ou de phosphore, ne se développent plus et souvent périssent très rapidement.

Si l'on veut examiner l'influence d'un élément sur la structure des plantes, on supprime dans la solution nutritive les sels de cet élément ; ainsi, pour étudier l'influence de la potasse, on

supprimera dans le milieu nutritif l'azotate de potasse et le phosphate de potasse.

D'autre part, je cultivais dans une solution complète les plantes qui devaient me servir de terme de comparaison. Je faisais les comparaisons de structure sur des régions comparables.

I. — INFLUENCE DE LA POTASSE SUR LA FORME ET LA STRUCTURE DES PLANTES.

ÉTUDE DE LA STRUCTURE COMPARÉE DU SARRASIN DÉVELOPPÉ
DANS LA SOLUTION NORMALE DE KNOP ET DU SARRASIN DÉVE-
LOPPÉ DANS UNE SOLUTION DE KNOP DONT ON A RETIRÉ LES
SELS DE POTASSE.

1. Sarrasin (*Polygonum fagopyrum*).

1° *Morphologie externe.*

En absence de potasse, le Sarrasin s'est développé très peu ; l'arrêt de développement s'est manifesté dès les premiers jours. Au quinzième jour, les plantes ont deux feuilles vertes ; la tige est grêle, filiforme ; la racine principale atteint 4 centimètres de longueur. Les feuilles cotylédonaire sont vertes et bien étalées.

Quand nous avons arrêté l'expérience, au bout de trente-cinq jours, la plante porte cinq feuilles. Les trois dernières feuilles sont petites, ne mesurent que 1 centimètre et demi de longueur. Les cotylédons sont flétris ; les deux premières feuilles commencent à présenter des petites taches jaunâtres.

La tige a une hauteur qui varie, suivant les échantillons, entre 8 et 11 centimètres.

La racine principale atteint de 6 à 7 centimètres ; elle est très grêle et présente peu de racines secondaires.

Le Sarrasin qui s'est développé dans le Knop complet a produit huit feuilles, normalement constituées, ayant 4 centimètres de largeur et 5 centimètres de longueur.

La tige a une hauteur de 35 à 40 centimètres. A ce moment, les fleurs commencent à s'épanouir.

Les racines plongent profondément dans le liquide et ont de nombreuses ramifications.

2° Morphologie interne.

a. *Racine*. — L'épiderme est formé de petites cellules régulières. Dans la région pilifère, les poils absorbants sont nombreux. L'écorce est formée de six assises de cellules polyédriques régulières sans méats aérifères.

Le cylindre central est formé de quatre faisceaux; chaque faisceau contient sept à huit petits vaisseaux. Le liber est peu développé; l'assise génératrice fonctionne de très bonne heure; elle donne un cercle de bois à fibres très petites et à parois très peu lignifiées. Les vaisseaux secondaires sont très peu nombreux. La moelle formée de grandes cellules arrondies forme un tissu peu serré. Les parois des cellules sont cellulosiques.

b. *Axe hypocotylé*. — L'épiderme est constitué par de petites cellules régulières; en dessous, un hypoderme toujours à cellules cellulosiques, le parenchyme cortical ayant quatre à cinq rangées de cellules polygonales. Le péricycle est formé de cellules régulières.

Chaque faisceau libéro-ligneux contient deux à trois vaisseaux plus grands et un ou deux petits. Le liber formé de petites cellules est peu développé. Pas de formation secondaire. Le parenchyme médullaire est formé de petites cellules cellulosiques. La moelle est en partie résorbée.

c. *Tige; deuxième entre-nœud* (Planche II, fig. 12). — L'épiderme est formé de cellules régulières allongées dans le sens radial, présentant de distance en distance des poils; l'épiderme est doublé par une seconde assise, formée de cellules petites et constituant l'hypoderme. L'écorce est constituée par un tissu compact de cellules polygonales sans méat.

Les faisceaux libéro-ligneux sont limités par un péricycle continu. Ils sont constitués par deux sortes de faisceaux. Les plus gros contiennent deux grands vaisseaux du bois, des fibres lignifiées et du liber qui est bien développé. Les petits faisceaux contiennent un à deux vaisseaux du bois, d'un calibre très petit, peu de fibres du bois et du liber qui est constitué par un parenchyme libérien assez abondant. Le parenchyme médullaire est composé par des petites cellules régulières. La

moelle est en partie résorbée. Pas de formation secondaire.

d. *Tige; quatrième entre-nœud* (Planche I, fig. 6). — L'épiderme présente des poils nombreux; il est dédoublé; le tissu cortical est réduit; les cellules sont plus petites, le nombre des assises est diminué.

Les faisceaux libéro-ligneux sont isolés; chaque faisceau ne contient qu'un à deux vaisseaux du bois; il n'y a pas de fibres du bois. Le liber est formé d'un amas de petites cellules. Le parenchyme médullaire est constitué par des petites cellules régulières. La moelle est formée de grandes cellules à parois très peu épaisses. Elle est résorbée en grande partie; à sa place, existe une lacune centrale.

e. *Feuille; troisième feuille* (Planche IV, fig. 24). — Les épidermes supérieur et inférieur sont formés de cellules allongées horizontalement. En dehors des nervures, le tissu palissadique est réduit à une seule assise de cellules; dans la nervure médiane, les vaisseaux du bois sont petits, au nombre de sept à huit. Le liber qui les entoure à la partie inférieure est formé de petites cellules et entremêlé de larges cellules non segmentées. La chlorophylle est abondante. Dans toutes les cellules on trouve de nombreux grains de chlorophylle ayant une coloration vert foncé.

3° Comparaison avec un pied de Sarrasin normal.

Si l'on compare cette structure avec celle d'un pied de Sarrasin de même âge, s'étant développé dans du Knop complet, on observe les différences suivantes :

a. *Racine*. — L'épiderme est constitué par des cellules régulières; l'écorce présente six rangées de cellules à parois peu épaisses. Les faisceaux sont au nombre de quatre; le bois contient de nombreux vaisseaux à lumière large; le liber est bien développé.

La moelle formée de grandes cellules présente une lacune centrale.

La formation secondaire se développe très tôt; l'assise génératrice produit un cercle continu de bois; les fibres ont des parois très lignifiées; le nombre des vaisseaux est très grand;

au-dessous du liber primaire, on voit se former de petits flots de sclérenchyme ne contenant que trois à quatre fibres.

b. *Axe hypocotylé*. — L'épaisseur de l'écorce est augmentée, de même que le nombre de rangées de cellules. Chaque faisceau contient deux à trois gros vaisseaux ; les fibres du bois ont leurs parois épaissies. Le liber est très développé et surmonté de quelques fibres de sclérenchyme.

La moelle formée de grandes cellules est lacunaire au centre.

c. *Tige; deuxième entre-nœud* (Planche II, fig. 10). — L'épiderme est formé de petites cellules à diamètre transversal plus grand ; il ne présente pas de poils. Les cellules de l'hypoderme ont leur grand diamètre orienté radialement. Le tissu cortical est plus épais, formé d'assises de cellules plus nombreuses ; les cellules sont plus grandes. Il y a du sclérenchyme très développé au niveau de chaque faisceau libéro-ligneux. Chaque faisceau contient trois à quatre gros vaisseaux à lumière double de celle des plantes sans potasse. Le liber est très développé. L'assise génératrice fonctionne ; les fibres du bois sont alignées radialement ; elles ont les parois très sclérifiées. Le bois forme un anneau complet. Le parenchyme médullaire est très développé ; il est formé de grandes cellules polyédriques. La moelle est très développée ; elle est formée de quatre à cinq rangées de très grandes cellules polyédriques à parois cellulósiques. La partie centrale de la moelle est résorbée.

d. *Tige; quatrième entre-nœud* (Planche I, fig. 4). — L'épiderme ne présente pas de cellules pilifères. L'écorce est constituée par cinq rangées de cellules polyédriques ; elle est plus épaisse que l'écorce des mêmes plantes sans potasse. Les faisceaux contiennent trois vaisseaux à lumière grande ; les fibres du bois sont épaisses, et le bois forme un anneau continu. Le parenchyme médullaire est bien développé, surtout au niveau des grands faisceaux. Les cellules sont grandes et cellulósiques. La moelle, à grosses cellules, est lacunaire à son centre.

e. *Feuille; troisième feuille* (Planche IV, fig. 22). — L'épiderme supérieur est formé par des cellules allongées horizontalement ; le tissu palissadique est formé de deux rangées de cellules ; le parenchyme contient deux autres rangées. L'épiderme inférieur a des cellules à diamètre horizontal plus grand. La nervure

médiane contient de nombreux vaisseaux à lumière grande ; le liber est abondant. Le parenchyme foliaire est très épais au niveau des nervures.

Résumé des différences entre la structure du Sarrasin développé sans potasse et la structure du Sarrasin développé avec potasse.

Racine. — L'absence de la potasse diminue l'épaisseur de l'écorce, le nombre des vaisseaux du bois et leur ouverture. Les fibres ligneuses ont des parois très peu sclérifiées ; l'épaisseur de la moelle est diminuée.

Tige. — Production de poils par l'épiderme de la tige de Sarrasin sans potasse ; diminution de l'écorce. Absence du sclérenchyme ; réduction du nombre des vaisseaux du bois ; absence de formation secondaire ; diminution du parenchyme médullaire et de la moelle.

Feuilles. — Réduction du nombre d'assises palissadiques ; réduction dans les nervures du nombre des vaisseaux.

2. Lupin (*Lupinus albus*).

Le Lupin cultivé dans la solution de Knop sans potasse a eu un développement assez important pendant les premiers jours de sa culture ; l'absence de la potasse s'est fait peu sentir ; les cotylédons se sont étalés en même temps que ceux des plantes avec potasse ; les premières feuilles se sont développées rapidement. C'est à partir du dixième jour que les plantes sans potasse ralentissent leur développement ; à ce moment, la deuxième feuille est étalée ; les autres se développent plus lentement.

Quand on arrête l'expérience le trente-cinquième jour, la plante présente l'aspect suivant :

1° Morphologie externe.

Pour le Lupin sans potasse, la racine reste grêle ; elle produit peu de radicelles ; la racine principale a une longueur de 10 centimètres : sa largeur est de 2 millimètres.

L'axe hypocotylé atteint 4 à 6 centimètres de longueur; la tige porte cinq à sept feuilles. Les entre-nœuds sont très rapprochés. La tige atteint 12 à 16 centimètres. Les feuilles inférieures sont à folioles plus larges, les supérieures à petites folioles, vertes. Le nombre des folioles est de quatre; souvent on en voit une cinquième, petite et avortée.

2° Morphologie interne.

a. *Racine*. — L'épiderme est formé par des cellules régulières. L'écorce contient huit rangées de cellules à parois peu cellulosiques, l'endoderme est constitué par une rangée de grandes cellules. Le péricycle forme une assise continue; le cylindre central est constitué par deux faisceaux. L'assise génératrice fonctionne de très bonne heure. Elle produit un anneau complet de bois. Les vaisseaux secondaires sont nombreux; leur lumière mesure au micromètre deux divisions. Les vaisseaux primaires sont en partie écrasés et à parois épaisses.

La moelle est formée par des petites cellules non lignifiées.

b. *Axe hypocotylé*. — L'épiderme est dédoublé; l'écorce est formée de sept à huit rangées de grandes cellules à contours irréguliers. L'endoderme a un épaissement peu marqué. Il y a des amas de sclérenchyme périlibérien; le liber primaire est refoulé vers le dehors, le liber secondaire est très développé.

Le bois primaire est formé par trois à quatre vaisseaux, dont quelques-uns sont écrasés. Le bois secondaire est formé de fibres assez fortement lignifiées; les vaisseaux secondaires sont nombreux.

c. *Tige; deuxième entre-nœud* (Planche II, fig. 9). — L'épiderme est formé par de petites cellules; il est dédoublé en un hypoderme continu. Le tissu cortical est constitué par de grandes cellules un peu arrondies. Le rapport de l'épaisseur de l'écorce à l'épaisseur du bois est de 2 : 1.

Le sclérenchyme forme des amas au-dessus de chaque faisceau; entre ces paquets de fibres, se trouvent, de place en place, de petits ilots formés par trois ou quatre fibres fortement sclérifiées.

L'assise génératrice a produit un anneau continu de bois

formé de fibres très sclérifiées et des vaisseaux secondaires dont la lumière mesure entre une et deux divisions micrométriques. Les vaisseaux primaires de chaque faisceau sont plus petits, et quelques-uns sont écrasés. Le parenchyme médullaire est formé de petites cellules; la moelle est formée de grandes cellules polyédriques à parois cellulósiques.

d. *Tige; quatrième entre-nœud* (Planche I, fig. 3). — L'épiderme et l'hypoderme ont la même constitution; le tissu cortical plus réduit est formé de cellules irrégulières et plus petites. Le sclérenchyme est formé par des fibres à peine lignifiées; leur membrane prend la coloration de la lignine. Le liber secondaire est moins développé. Les fibres du bois secondaire ont leurs parois bien moins épaisses que les fibres secondaires du premier entre-nœud.

Les vaisseaux secondaires sont moins nombreux, à lumière large. Les vaisseaux primaires sont diminués. La moelle est formée par des grandes cellules polyédriques.

e. *Feuilles; troisième feuille*. — Si l'on étudie la foliole centrale, celle qui est la plus grande, on observe que :

L'épiderme supérieur est couvert de nombreux poils. Les cellules sont allongées horizontalement. Le tissu palissadique est formé de deux rangées de cellules allongées. Au niveau de la nervure médiane, le parenchyme foliaire est formé par deux assises de cellules.

Les vaisseaux de la nervure médiane sont au nombre de sept à huit, et à lumière étroite.

Le liber est développé.

3° Comparaison avec un pied de *Lupin normal*.

Dans ces cultures, le *Lupin* se développe rapidement; il produit des racines longues, qui se ramifient; la racine principale atteint 15 à 18 centimètres; à sa partie supérieure, elle a une largeur de 3 millimètres, la tige mesure de 25 à 30 centimètres de hauteur; elle porte généralement neuf à dix feuilles, ayant cinq folioles. Chaque foliole est plus grande que la correspondante d'une feuille qui a poussé en l'absence de potasse.

Souvent, au trente-cinquième jour, les plantes sont prêtes à fleurir.

a. *Racine*. — L'écorce est très développée; elle est formée de grandes cellules. L'endoderme a une membrane épaisse, un péricycle continu; on trouve un anneau presque continu de fibres sclérifiées péricycliques. Ces fibres sont groupées par deux ou trois et sont séparées par places par des cellules non lignifiées. Le cylindre central contient deux faisceaux dont le bois primaire, refoulé vers l'intérieur, est formé par des vaisseaux à lumière étroite.

Le bois secondaire contient des vaisseaux mesurant quatre divisions micrométriques.

b. *Axe hypocotylé*. — L'écorce est plus développée que pour le Lupin sans potasse. Le sclérenchyme forme un anneau presque complet. Le bois secondaire a des parois très épaisses. La moelle présente de grandes cellules.

c. *Tige; deuxième entre-nœud* (Planche II, fig. 7). — L'épiderme ne produit pas de poils. L'hypoderme a des cellules plus grandes. L'épaisseur de l'écorce est augmentée, les cellules sont plus grandes et polyédriques.

Dans le parenchyme cortical se trouvent différenciées des fibres lignifiées; elles sont réunies en groupe de deux ou trois; elles sont situées au milieu du parenchyme (*fc*, fig. 7).

Le rapport de l'épaisseur de l'écorce à l'épaisseur du bois est dans la proportion de 2,5 à 1,5. Le sclérenchyme est fortement développé.

L'assise génératrice a produit un anneau libéro-ligneux; les vaisseaux secondaires sont nombreux et ont une lumière un peu plus grande que celle des plantes sans potasse. Le bois primaire contient 4 à 6 vaisseaux entourés du parenchyme médullaire, qui est lignifié. La moelle est formée par de grosses cellules polyédriques à membrane cellulosique.

d. *Tige; quatrième entre-nœud* (Planche I, fig. 1). — Les cellules de l'épiderme et de l'écorce sont plus grandes que dans les plantes sans potasse. Le sclérenchyme est peu lignifié. Les vaisseaux secondaires du bois sont plus nombreux. Les fibres sont moins sclérifiées. Le liber primaire est plus abondant. Le rapport de l'épaisseur de l'écorce et de l'épaisseur du bois

est de 3 : 1, tandis que pour le Lupin sans potasse il est de 2 : 1. Le parenchyme médullaire n'est pas sclérifié; il est formé de grandes cellules polyédriques.

e. *Feuilles; troisième feuille, foliole centrale.* — L'épaisseur de la feuille est plus grande; entre les deux épidermes il y a trois rangées de cellules palissadiques et deux de parenchyme. La nervure médiane contient des vaisseaux plus nombreux; le liber est beaucoup plus développé que pour les plantes sans potasse.

Résumé des différences de structure entre le Lupin sans potasse et le Lupin avec potasse.

Pour les plantes sans potasse, les racines sont plus grêles et moins ramifiées; leur longueur ne dépasse pas 10 centimètres. La tige est plus courte, porte moins de feuilles; les entre-nœuds sont rapprochés. Les feuilles sont petites, elles ont moins de folioles.

Racine. — Diminution de l'épaisseur de l'écorce; pas de fibres péricycliques. Les vaisseaux sont moins abondants et à lumière plus étroite.

Tige. — Absence de fibres corticales, réduction de l'épiderme de l'écorce. Le rapport de l'épaisseur du bois à celle de l'écorce (écorce et liber) est de 2 : 1. Le liber primaire est moins développé. Au niveau du quatrième entre-nœud, dans le Lupin sans potasse le parenchyme médullaire est réduit, le bois secondaire est plus développé.

Feuilles. — Réduction de l'épaisseur de la feuille; réduction du nombre des vaisseaux du liber.

3. Maïs (*Zea Mays*).

1° *Morphologie externe.*

Le Maïs, en l'absence de potasse, se développe très peu. Sa végétation est retardée; il a trois ou quatre feuilles après trente-cinq jours de développement. La racine principale atteint 12 centimètres; les racines adventives sont au nombre de cinq à sept. La tige a 15 centimètres de hauteur; les feuilles les plus

larges ont au-dessus de la gaine foliaire de 8 à 10 millimètres. La tige a une largeur de 9 millimètres au milieu du premier entre-nœud.

2° Morphologie interne.

a. *Racine*. — L'épiderme est formé par de petites cellules régulières auxquelles font suite trois assises de cellules petites, serrées, qui ont une membrane cellulosique. Le tissu cortical est formé par de grandes cellules rondes, présentant des méats entre elles. De place en place, il y a des lacunes formées par la disparition de trois à quatre grandes cellules. L'endoderme est fortement épaissi. Le cylindre central comprend six gros vaisseaux ayant chacun deux petits vaisseaux latéraux. Le liber est peu développé. La moelle est cellulosique, à cellules arrondies.

b. *Tige ; deuxième entre-nœud* (Planche III, fig. 15). — L'épiderme et l'hypoderme ont une membrane légèrement sclérifiée. Le parenchyme est formé de petites cellules ne présentant pas de méats entre elles. Les faisceaux sont nombreux, entourés d'une gaine de fibres dont les parois sont lignifiées. Chaque faisceau a deux gros vaisseaux ponctués, deux petits annelés et spiralés. A la pointe des vaisseaux annelés se trouve un parenchyme de petites cellules cellulosiques. Le liber est peu développé.

c. *Feuilles ; troisième feuille* (Planche IV, fig. 27). — Au niveau de la nervure médiane, l'épiderme supérieur est formé par des cellules aplaties ; au-dessous, deux rangées de cellules rectangulaires, petites, à membrane cellulosique ; le parenchyme est constitué par de grandes cellules polygonales. La nervure médiane est entourée d'une gaine fortement sclérifiée se continuant par un tissu scléreux qui va du liber à l'épiderme inférieur. Il y a deux grands vaisseaux du bois latéraux et deux à trois plus petits dans le plan de symétrie de la feuille. Le liber forme un petit amas au-dessous du bois. Entre les grandes nervures sont placées de petites nervures ayant une gaine scléreuse incomplète, contenant un ou deux petits vaisseaux du bois et quelques cellules libériennes. L'épiderme inférieur est

Formé par des cellules sclérifiées seulement au niveau des grandes nervures.

Si l'on examine une coupe du limbe faite dans une région plus éloignée de la partie centrale, on observe que les nervures contiennent deux petits vaisseaux du bois et quelques cellules du liber. Une gaine fortement sclérifiée entoure complètement le faisceau, réunissant les deux épidermes, qui sont sclérifiés au niveau de la nervure. Le parenchyme de la feuille à cet endroit est formé par trois rangées de cellules petites et polygonales.

3° Comparaison avec un pied de Maïs normal.

Le Maïs, cultivé dans la solution normale de Knop, a, pendant le même temps, un développement plus grand ; ses racines sont nombreuses ; elles atteignent 35 centimètres de longueur. La tige mesure 35 à 40 centimètres ; elle porte de sept à huit feuilles. L'épaisseur de la tige est de 1 centimètre et demi en dehors des gaines foliaires. Les feuilles ont de 2 à 3 centimètres de largeur.

a. *Racine*. — Si l'on fait une coupe de la racine principale au même niveau que pour la racine de Maïs précédemment décrite, on observe que le diamètre de la coupe a une longueur de douze divisions micrométriques, que la coupe de racine sans Knop a un diamètre de sept divisions micrométriques.

L'assise pilifère présente de nombreux poils absorbants ; l'épiderme est formé de cellules à parois cellulósiques, auxquelles font suite trois rangées cellulaires à parois lignifiées. Le tissu cortical est constitué par de grandes cellules présentant entre elles des méats et de place en place des lacunes. L'épaisseur de l'écorce est de quatre divisions micrométriques. L'épiderme est fortement épaissi ; le cylindre central est limité par un péri-cycle à grandes cellules ; il contient six très gros vaisseaux du bois ; ce sont des vaisseaux ponctués, et latéralement, pour chaque gros vaisseau, il y en a deux ou trois petits. Ces vaisseaux sont entourés de fibres sclérifiées. Le liber forme de très petits flots. La moelle est constituée par de grandes cellules cellulósiques arrondies.

b. *Tige ; deuxième entre-nœud* (Planche III, fig. 13). — L'épi-

derme et l'hypoderme ont leurs parois très peu lignifiées. Le nombre des faisceaux est plus grand pour les tiges de Maïs développé dans le Knop complet. Leurs vaisseaux ponctués sont très gros. Chaque faisceau a en plus un ou deux petits vaisseaux spirales ou réticulés. Le liber est formé de gros tubes criblés. La gaine scléreuse qui entoure chaque faisceau est composée de fibres à parois peu lignifiées. Le parenchyme est formé de grandes cellules cellulosiques.

c. *Feuilles; troisième feuille* (Planche IV, fig. 25). — La coupe faite au niveau de la nervure médiane diffère beaucoup de la coupe faite au même niveau dans une feuille de Maïs s'étant développée en l'absence de la potasse. L'épiderme supérieur et la couche de cellules subjacentes sont sclérifiés. Le parenchyme comprend neuf rangées de cellules polygonales, dont les dernières rangées sont à très grosses cellules. Le faisceau de la nervure médiane est entouré d'une forte gaine de fibres scléreuses. Les vaisseaux du bois sont au nombre de trois.

Le parenchyme qui entoure la pointe du faisceau est formé par de petites cellules, limitant entre les vaisseaux et les cellules du parenchyme une petite lacune. Le liber est formé par un amas de plusieurs cellules. La gaine qui entoure le faisceau se continue par quatre rangées de petites fibres qui rejoignent l'épiderme inférieur. Celui-ci est formé de petites cellules sclérifiées. Entre les grandes nervures de la feuille sont placées de petites nervures ayant un seul petit vaisseau du bois, quelques cellules de liber et une gaine fortement sclérifiée. Une section du limbe fait voir que son épaisseur est constituée par quatre rangées de cellules polygonales ne présentant pas de lacunes. Les nervures sont entourées de sclérenchyme épais, qui forme plusieurs rangées de petites cellules à chaque extrémité du faisceau. Il y a trois grands vaisseaux du bois et un ou deux petits.

En résumé, les différences que j'ai observées entre le Maïs qui s'est développé dans la solution de Knop sans potasse et le Maïs développé dans le Knop normal sont les suivantes :

Le Maïs sans potasse a la racine principale plus courte, plus grêle; moins de racines adventives. La tige atteint 15 centimètres de hauteur, et pour le Maïs cultivé avec potasse elle

atteint de 35 à 40 centimètres. Sa largeur est de 9 millimètres pour les plantes sans potasse et de 15 millimètres pour les plantes avec potasse. Le Maïs cultivé avec potasse présente de sept à neuf feuilles ; le Maïs cultivé sans potasse n'en présente que trois ou quatre. Dans le premier cas, la largeur des feuilles peut atteindre 3 centimètres ; pour les plantes cultivées sans potasse, elle ne dépasse pas 1 centimètre.

Morphologie interne.

Racine. — On observe une diminution du diamètre pour les plantes sans potasse ; chez ces dernières, il est de sept divisions micrométriques et de douze divisions pour les plantes avec potasse. Absence de zone lignifiée sous-épidermique dans le Maïs sans potasse. Diminution de l'ouverture des vaisseaux du bois.

Tige. — Absence de lignification de l'épiderme et de l'hypoderme. Augmentation du nombre des faisceaux libéro-ligneux dans les tiges avec potasse. Les vaisseaux du bois sont plus gros dans la tige de Maïs avec potasse.

Feuilles. — Les feuilles de Maïs sans potasse diffèrent de celles avec potasse par la réduction du parenchyme foliaire. Diminution des vaisseaux du bois et de leur calibre ; réduction du liber et réduction du sclérenchyme.

4. Blé (*Triticum sativum*).

La solution de Knop normale convient mal au développement du Blé. Les cultures obtenues sont très chétives par rapport aux autres plantes.

1° *Morphologie externe.*

Le Blé cultivé dans la solution de Knop sans potasse se développe lentement, forme une tige très courte, qui se courbe après avoir donné la troisième feuille. La tige est molle et peu résistante. Les racines sont filiformes, présentent un chevelu assez abondant. Les feuilles qui se sont développées pendant les trente-cinq jours de végétation sont au nombre de cinq. Elles attei-

gnent une longueur de 10 à 12 centimètres, et une largeur d'environ 3 millimètres. Leur coloration est d'un vert très clair.

2° Morphologie interne.

a. *Racine*. — L'écorce est formée par cinq rangées de cellules cellulosiques, présentant de nombreuses lacunes. L'endoderme est peu épaissi. Le cylindre central est constitué par huit faisceaux contenant deux à trois petits vaisseaux; de chaque côté se trouvent des petits flots de liber.

Au centre, il y a quatre gros vaisseaux du bois; la moelle est cellulosique.

b. *Tige; deuxième entre-nœud* (Planche III, fig. 18). — L'épiderme est constitué par de petites cellules à parois non sclérifiées; l'hypoderme et le parenchyme cortical sont cellulosiques. Le nombre de faisceaux libéro-ligneux est de dix. Chaque faisceau est entouré d'une gaine peu scléreuse. Les vaisseaux du bois sont au nombre de quatre, dont deux latéraux plus volumineux et deux dans le plan de symétrie des faisceaux; ils sont petits et sont entourés vers l'intérieur par un parenchyme formé de cellules petites, à membrane cellulosique. Le liber est peu développé. Les rayons médullaires sont formés par des cellules cellulosiques polygonales. La moelle est en grande partie résorbée.

c. *Feuilles; deuxième feuille* (Planche IV, fig. 21). — L'épiderme supérieur présente des poils de distance en distance; l'assise sous-épidermique au niveau de la nervure médiane est sclérifiée; les autres cellules du parenchyme sont cellulosiques. La nervure est entourée d'un endoderme à parois latérales épaissies. Le nombre des vaisseaux du bois est de quatre. Le parenchyme qui les entoure est constitué par de petites cellules à membrane cellulosique. Le liber est bien développé. A la partie inférieure du faisceau il y a six rangées de cellules scléreuses. L'épiderme inférieur est sclérifié à leur niveau. Le limbe est formé de trois assises de cellules; deux sont polygonales; l'assise moyenne est formée par des cellules arrondies.

3° Comparaison avec un pied de Blé normal.

1° Morphologie externe.

Le Blé produit des racines longues; la tige se tient droite, portant dix feuilles vertes longues de 12 à 15 centimètres et larges de 5 millimètres.

2° Morphologie interne.

a. *Racine*. — L'écorce est peu épaisse; elle comprend cinq à sept rangées de cellules cellulósiques, limitant vers la partie interne de larges lacunes.

L'endoderme est très épais. Les quatre gros vaisseaux du bois sont d'un diamètre plus grand. Le liber est très développé.

b. *Tige; deuxième entre-nœud* (Planche III, fig. 16). — Le diamètre de la tige est de 7 millimètres; il n'est que de 4 pour la plante sans potasse.

L'écorce, l'hypoderme, le parenchyme périphérique sont totalement sclérifiés. Les vaisseaux libéro-ligneux sont au nombre de douze, entourés d'une gaine scléreuse; chaque faisceau a quatre vaisseaux du bois, d'un diamètre plus grand. Le liber est mieux développé, les rayons médullaires sont formés par une ou deux assises de grandes cellules. Une cavité centrale remplace la moelle en grande partie.

c. *Feuilles; deuxième feuille* (Planche IV, fig. 19). — On remarque que les cellules de l'épiderme et du parenchyme sont plus grandes; le nombre d'assises cellulaires est de six. Au niveau de la nervure médiane, l'épiderme est sclérifié sur l'étendue de quatre cellules.

La nervure est entourée par un endoderme sclérifié; le faisceau contient trois grands vaisseaux du bois et un ou deux petits.

Le liber est bien développé; entre la nervure et l'épiderme inférieur se trouvent deux assises de grandes cellules cellulósiques, puis trois rangées de sclérenchyme; l'épiderme inférieur est sclérifié à ce niveau.

Le limbe comprend quatre assises de cellules polyédriques ; au niveau des nervures, l'épiderme inférieur est sclérifié.

Résumé des différences entre le Blé cultivé sans potasse et le Blé avec potasse.

Le Blé sans potasse développe des racines courtes, filiformes, une tige molle, versant de bonne heure, produisant quatre feuilles étroites, d'un vert clair.

Le Blé avec potasse a des racines qui atteignent 15 centimètres de longueur, à diamètre plus grand ; la tige est rigide, portant dix feuilles plus larges et de coloration verte.

Pour la plante sans potasse, on observe dans la structure :

Racine. — Diminution de l'épaisseur de l'écorce, lacune plus petite, moindre épaissement de l'endoderme, diminution du diamètre des vaisseaux du bois et diminution du liber.

Tige. — Absence de sclérification de l'épiderme et des assises subjacentes ; nombre inférieur de faisceaux libéro-ligneux, diminution du diamètre de la tige.

Feuilles. — Réduction du parenchyme foliaire ; les diamètres des cellules sont plus petits. Les vaisseaux du bois ont un diamètre inférieur, le liber est moins bien développé. Le sclérenchyme, au niveau des nervures, est augmenté.

CONCLUSIONS. — L'étude de l'influence de la potasse sur la structure des plantes étudiées nous permet d'énoncer les conclusions suivantes :

1° Morphologie externe.

I. En l'absence de potasse, le développement des plantes est ralenti dès le début de la végétation.

II. Les racines sont en général petites, peu développées.

III. La tige est courte ; ses entre-nœuds sont rapprochés ; la tige du Blé est molle, elle se plie facilement.

IV. Les feuilles sont réduites, minces, et leur nombre est très restreint.

2° *Morphologie interne.*

L'absence de la potasse produit sur les plantes les modifications suivantes :

I. *Racine.* — Réduction de l'écorce et des éléments sclérifiés, diminution du nombre et de la grosseur des vaisseaux du bois, diminution du liber.

II. *Tige.* — Réduction des éléments sclérifiés, réduction du nombre des vaisseaux du bois et de leur diamètre. Réduction de la moelle ; augmentation du rapport de l'épaisseur de l'écorce à l'épaisseur du bois. Dans la tige de Lupin, les éléments du bois ne sont pas diminués.

III. *Feuilles.* — Réduction du tissu palissadique et du parenchyme. Diminution des sclérenchymes et du liber ; diminution du diamètre des vaisseaux du bois.

II. — INFLUENCE DU PHOSPHORE SUR LA FORME ET LA STRUCTURE DES PLANTES.

1. Sarrasin (*Polygonum fagopyrum*).

Le Sarrasin cultivé dans la solution de Knop, sans phosphore, se développe, au commencement de la végétation, aussi rapidement que dans la solution de Knop normale. A partir de la troisième feuille son développement s'est ralenti, la tige ne grossit plus, elle est droite, rigide, porte cinq feuilles. Les trois feuilles inférieures ont une longueur de 2 centimètres et demi à 3 centimètres; les deux autres n'ont que 2 centimètres; quelquefois il se forme une sixième feuille qui est très petite, atteignant à peine 1 centimètre.

Les racines se développent bien; la racine principale a une largeur de 1 millimètre à 1 millimètre et demi. Elle se ramifie beaucoup. La région pilifère est bien développée.

Au trente-cinquième jour, la plante présente la structure suivante :

Morphologie interne.

a. *Racine.* — L'épiderme est dédoublé, cellulosique. L'écorce est formée de cinq rangées cellulaires; les deux assises externes, constituées par des cellules polygonales; les trois autres sont formées par de très grandes cellules arrondies, formant un tissu très lâche.

Le cylindre central comprend quatre faisceaux. Les vaisseaux primaires sont très petits et au nombre de deux ou trois par faisceau. Le liber primaire est peu développé.

L'assise génératrice fonctionne très tôt; elle forme un anneau continu. Le bois secondaire est peu développé; il est formé par quatre assises; les vaisseaux sont petits et très peu nombreux.

La partie centrale de la racine forme une grande lacune.

b. *Axe hypocotylé*. — L'épiderme est formé par de grandes cellules à membrane peu épaisse; l'écorce est constituée par cinq assises de cellules, grandes, presque polygonales, sans méats.

Les faisceaux contiennent très peu de vaisseaux, un ou deux par faisceau, entourés de quelques fibres lignifiées. Le liber est peu développé. Les faisceaux sont reliés entre eux par une ou deux assises de fibres à parois lignifiées.

La moelle est en grande partie résorbée.

c. *Tige; deuxième entre-nœud* (Planche II, fig. 11). — La structure de la tige est peu différente de celle de l'axe hypocotylé; l'écorce est plus épaisse; le nombre des faisceaux est le même; les vaisseaux du bois sont plus grands; pour chaque faisceau, il y a un ou deux gros vaisseaux. Le liber est peu développé. Le parenchyme médullaire est formé par quelques petites cellules situées à la pointe interne des faisceaux. Le péricycle est lignifié. Les faisceaux sont reliés par des fibres sclérifiées formant deux ou trois assises. Il n'y a pas de formations secondaires. La moelle est constituée par de grandes cellules polygonales; sa partie centrale est résorbée.

d. *Tige; quatrième entre-nœud* (Planche I, fig. 5). — Les cellules de l'épiderme sont plus petites; l'écorce est plus réduite. Même nombre de faisceaux libéro-ligneux. Absence d'assise génératrice. La moelle est en grande partie résorbée.

e. *Feuilles; troisième feuille* (Planche IV, fig. 23). — Au niveau de la nervure médiane, l'épiderme supérieur est formé par de grandes cellules; il présente des poils de distance en distance. Viennent ensuite deux rangées de cellules parenchymateuses. Le faisceau médian est entouré d'un endoderme à parois celluloseuses. Au milieu d'un parenchyme encore non lignifié, se trouvent huit petits vaisseaux du bois; le liber est très peu développé. En dessous du faisceau il y a quatre rangées de cellules à parois sclérifiées; l'épiderme inférieur à ce niveau a ses parois lignifiées. Une coupe du limbe fait voir que son épaisseur est formée de trois assises de cellules; l'assise palissadique contient une seule rangée de cellules; le tissu lacuneux est formé de deux rangées de cellules arrondies. Les épidermes inférieur et supérieur ont leur membrane non sclérifiée.

RÉSUMÉ. — Les différences entre le développement et la

structure du Sarrasin cultivé en l'absence du phosphore et le Sarrasin cultivé avec phosphore sont les suivantes :

Dans le Knop complet, le Sarrasin atteint un développement plus considérable; la tige a une hauteur de 35 à 40 centimètres. Elle produit huit feuilles plus grandes. Les racines sont plus longues, plus nombreuses, plus épaisses.

Racine. — La racine de Sarrasin sans phosphore a une écorce plus réduite; le nombre des vaisseaux primaires est très réduit. Le liber est peu développé. Le bois secondaire a des parois très peu lignifiées; les vaisseaux ont un très petit diamètre.

Tige. — Réduction de l'écorce; absence de formation secondaire; réduction du bois et du liber.

Feuilles. — Le tissu palissadique est réduit, de même que l'épaisseur de la feuille. Les vaisseaux du bois sont peu nombreux et très petits.

2. Lupin blanc (*Lupinus albus*).

Sans phosphore, le Lupin ne se développe qu'incomplètement. Les racines sont courtes; la racine principale mesure de 6 à 8 centimètres; elle porte des radicelles courtes. La tige est haute de 16 centimètres; elle porte cinq feuilles; la dernière feuille et ses folioles sont jaunes; les folioles des autres feuilles sont petites et d'un vert foncé.

Morphologie interne.

a. *Racine.* — L'écorce est formée par des cellules arrondies, formant un tissu sans lacunes. Le nombre d'assises cellulaires est de huit. Les cellules de l'endoderme ont une membrane épaissie; des fibres péricycliques réunies par groupe de deux à quatre sont disséminées autour du liber. Le cylindre central comprend le bois primaire formé par deux faisceaux contenant quatre à cinq petits vaisseaux; de la pointe de chaque faisceau part un arc de métaxylème. L'assise génératrice a donné un anneau de bois secondaire, formé par des fibres à parois peu épaissies et par de gros vaisseaux. Le liber est bien développé. La moelle est formée par des cellules

arrondies à parois cellulósiques et présentant entre elles des méats.

b. *Axe hypocotylé*. — L'épiderme est dédoublé; l'écorce est formée de grandes cellules à parois très peu épaissies. La membrane des cellules de l'endoderme n'est pas épaissie; les fibres péricycliques sont peu nombreuses. Le cylindre central est formé par des faisceaux contenant des vaisseaux du bois primaire qui sont d'un petit calibre. Le bois secondaire est à peine ébauché; l'assise génératrice fonctionne, mais les membranes ne sont pas encore différenciées. Les rayons médullaires sont formés par des petites cellules polygonales. La moelle est résorbée en grande partie.

c. *Tige; deuxième entre-nœud* (Planche II, fig. 8). — L'épiderme et l'hypoderme sont formés par des cellules à parois peu épaissies. L'épiderme est constitué par six assises de grandes cellules irrégulières. En face de chaque faisceau libéro-ligneux, on voit des fibres péricycliques dont les parois ne sont pas encore lignifiées; les faisceaux sont encore séparés les uns des autres. L'assise génératrice commence à fonctionner; mais les cellules qu'elle produit ne sont pas différenciées. Les vaisseaux du bois mesurent quatre divisions micrométriques; le parenchyme médullaire est formé de petites cellules cellulósiques. L'épaisseur de l'écorce et l'épaisseur du bois sont dans la proportion de 2 : 0,5. Les cellules de la moelle sont grandes, à parois peu épaisses.

d. *Tige; quatrième entre-nœud* (Planche I, fig. 2). — L'épiderme et l'écorce sont formés par des cellules petites, à parois très minces, présentant entre elles des méats. Il n'y a pas de fibres péricycliques. L'assise génératrice n'existe pas. Les faisceaux sont séparés par des rayons médullaires constitués par des petites cellules cellulósiques. Les vaisseaux sont d'un petit diamètre; ils mesurent deux divisions micrométriques. Le liber est très peu développé. Les cellules de la moelle sont arrondies, irrégulières, présentant des méats; pas de cavité.

e. *Feuilles; troisième feuille; foliole centrale*. — Sur une coupe faite à travers la nervure médiane, on voit l'épiderme portant de nombreux poils, puis cinq rangées de cellules polygonales. La nervure médiane est entourée d'un endo-

derme épaissi. Les vaisseaux du bois sont rangés en file ; ils sont d'un diamètre très petit. L'épiderme inférieur est lignifié à l'endroit de la nervure principale. Le limbe comprend une seule assise de cellules palissadiques et deux assises de cellules formant le tissu lacuneux.

Résumé. — Les différences entre le Lupin cultivé dans le Knop normal et le Lupin cultivé dans le Knop sans phosphore sont les suivantes :

Pour les plantes cultivées dans le Knop sans phosphore, le développement est ralenti ; les racines sont plus courtes, ne mesurent que 8 centimètres au lieu de 15 ; leurs racelles sont très peu développées. La tige est raccourcie ; les feuilles portent des folioles plus petites et d'un vert foncé.

a. *Racine.* — Les différences portent sur la longueur du diamètre de la racine, qui est de huit divisions micrométriques ; sur les formations secondaires et la diminution du diamètre des vaisseaux, qui ne mesurent que trois divisions micrométriques.

b. *Tige.* — Au niveau du deuxième entre-nœud, on observe une réduction de l'épaisseur du tissu cortical ; les fibres péricycliques ne sont pas lignifiées. L'assise génératrice fonctionne très peu ; les fibres ont des parois peu lignifiées ; les vaisseaux secondaires sont très petits. Le rapport de l'épaisseur du bois à l'épaisseur de l'écorce est augmenté ; au niveau du quatrième entre-nœud, ces différences sont encore plus grandes, l'écorce est encore plus réduite ; il n'y a pas de fibres péricycliques, pas de formations secondaires.

c. *Feuilles.* — L'absence de phosphore se traduit sur les feuilles de Lupin par une réduction de l'assise palissadique et une réduction du diamètre des vaisseaux de leurs nervures.

3. Maïs (*Zea Mays*).

Le développement du Maïs en l'absence de phosphore dans le milieu nutritif se fait d'une manière incomplète. Le Maïs ne donne que quatre à cinq feuilles ; la quatrième feuille commence à avoir la partie supérieure jaunâtre ; la cinquième, qui est plus petite et plus étroite, est en grande partie d'une coloration jaune.

La tige a une épaisseur de 10 millimètres. La racine principale est grêle; il y a de nombreuses racines adventives.

Morphologie interne.

a. *Racine.* — Les trois assises de cellules qui font suite à l'épiderme ont leurs parois lignifiées; les autres assises de l'écorce sont formées par des cellules arrondies, présentant entre elles des méats assez grands. L'écorce n'a pas de lacune. L'endoderme est épaissi. Le péricycle est formé par des cellules allongées radialement. Le cylindre central comprend six grands vaisseaux ponctués; chacun de ces vaisseaux est accompagné de deux ou trois petits vaisseaux. Les cellules libériennes sont très peu nombreuses. La moelle est formée de cellules arrondies et cellulósiques.

b. *Tige; deuxième entre-nœud* (Planche III, fig. 14). — L'épiderme est formé par des petites cellules rectangulaires. Les cellules de l'hypoderme sont cellulósiques et plus grandes. Le parenchyme est formé par des cellules arrondies.

Les faisceaux sont entourés par une gaine de petites cellules à parois à peine lignifiées.

Le nombre des vaisseaux est de quatre pour chaque faisceau, deux latéraux plus grands et deux à la partie centrale plus petits; le liber est peu développé.

c. *Feuilles; troisième feuille* (Planche IV, fig. 26). — Au niveau de la nervure centrale, l'épiderme supérieur est sclérifié, de même que de place en place les deux ou trois assises qui lui font suite. Le parenchyme est formé de deux assises cellulaires polygonales. Le faisceau de la nervure principale est entouré d'un endoderme lignifié; il contient trois vaisseaux du bois, deux mesurant trois divisions micrométriques et un n'en mesurant qu'une et demie. Le liber est peu développé. A la partie inférieure du faisceau se trouvent quatre assises de sclérenchyme qui se continuent avec l'épiderme inférieur sclérifié à ce niveau.

Le *limbe* est formé de trois couches de cellules arrondies comprises entre les deux épidermes; au niveau d'une nervure secondaire, le limbe est plus épais; il est formé de cinq couches de cellules petites et arrondies.

La nervure secondaire comprend trois vaisseaux, du liber et un endoderme dont les cellules ne sont pas complètement lignifiées. A la partie supérieure et à la partie inférieure, il y a du sclérenchyme; ni l'épiderme supérieur, ni l'épiderme inférieur ne sont sclérifiés.

RÉSUMÉ. — Si nous comparons avec la structure du Maïs cultivé dans le Knop normal, nous observons les différences suivantes :

Il y a une diminution de la longueur des racines; la tige ne porte que quatre à cinq feuilles. Les deux dernières feuilles deviennent jaunes. La longueur des feuilles est de 10 à 11 centimètres; leur largeur de 1 centimètre.

Racine. — Diminution du diamètre transversal de la racine.

La lumière des vaisseaux est plus petite.

Tige. — Le diamètre de la tige est réduit. L'épiderme ainsi que les couches subjacentes sont cellulodiques. Les faisceaux n'ont pas de gaines de sclérenchyme. Les vaisseaux du bois sont réduits.

Feuilles. — Réduction du parenchyme foliaire; diminution du liber; diminution du calibre des vaisseaux du bois.

4. Blé (*Triticum sativum*).

En solution de Knop, sans phosphore, le Blé a une tige droite, rigide, portant sept feuilles, dont les trois dernières sont minces et jaunes. La hauteur de la tige est de 17 centimètres. Les feuilles inférieures atteignent 12 à 14 centimètres, les supérieures 8 à 9 centimètres; leur largeur est de 2 millimètres.

Les racines ont une longueur de 11 centimètres, ayant plusieurs radicelles.

Morphologie interne.

a. *Racine.* — Les cellules de l'épiderme et de l'écorce sont cellulodiques. A la partie interne de l'écorce, on voit des lacunes formées par trois assises cellulaires. L'endoderme n'est pas épaissi. Les faisceaux sont au nombre de dix; ils ont trois vaisseaux du bois; le liber est formé de petites cellules peu nombreuses. La moelle est composée de cellules arrondies à membrane cellulodique.

b. Tige; deuxième entre-nœud (Planche III, fig. 17). — L'épiderme, l'hypoderme et les trois rangées de cellules subjacentes ont leurs parois lignifiées. Les faisceaux, au nombre de onze, sont entourés d'un endoderme sclérifié. Le nombre des vaisseaux est de quatre, deux vaisseaux latéraux plus grands et deux dans le plan de symétrie des faisceaux; ils sont très petits.

La moelle est presque complètement résorbée.

c. Feuilles; deuxième feuille (Planche IV, fig. 20). — La nervure médiane est entourée d'un endoderme fortement sclérifié; il est relié aux épidermes par du sclérenchyme. Le mésophylle est formé par des cellules polygonales à parois fortement cellullosiques. Le nombre des nervures secondaires est de vingt; chaque nervure est entourée de sclérenchyme; les épidermes sont sclérifiés à leur niveau. Le mésophylle entre les faisceaux secondaires est formé de trois rangées de cellules à membranes fortement cellullosiques.

RÉSUMÉ. — Les différences entre le Blé cultivé en solution de Knop et le Blé cultivé en milieu sans phosphore sont les suivantes :

Le Blé cultivé en l'absence du phosphore a des racines moins développées. — La tige est moins forte et porte moins de feuilles; celles-ci sont plus étroites, les dernières jaunissent.

L'écorce de la racine est diminuée d'épaisseur; les vaisseaux sont moins larges. Pour la tige, le diamètre est diminué; le tissu lignifié sous-épidermique est aussi développé que dans la tige de Blé cultivé dans la solution de Knop normale. Les vaisseaux du bois ont leur calibre plus petit. Pour la feuille, il y a réduction du parenchyme et épaissement des membranes des cellules du parenchyme foliaire.

CONCLUSIONS. — L'étude de l'influence du phosphore sur la structure des plantes étudiées nous permet d'énoncer les conclusions suivantes :

1° Morphologie externe.

1. L'absence du phosphore produit sur les végétaux un arrêt de développement.

II. Les racines sont courtes et déformées ; pour le Lupin, les radicelles sont supprimées.

III. La tige est droite, rigide ; les entre-nœuds sont rapprochés.

IV. Les feuilles sont peu nombreuses ; les feuilles inférieures sont d'un vert foncé, les supérieures sont jaunes, minces et étroites.

2° Morphologie interne.

L'absence du phosphore produit sur la structure des plantes les modifications suivantes :

I. *Racine.* — L'écorce est diminuée d'épaisseur ; les vaisseaux du bois ont un petit diamètre.

II. *Tige.* — L'écorce est réduite, le sclérenchyme cortical est bien développé (Maïs et Blé). Dans le Lupin, les fibres corticales font défaut, l'assise génératrice secondaire ne forme pas un anneau continu de bois.

III. *Feuilles.* — Le diamètre des vaisseaux des nervures est réduit ; le sclérenchyme est bien développé ; le mésophylle est diminué d'épaisseur. Pour le Blé, les cellules du mésophylle ont des parois fortement cellulósiques.

III. — INFLUENCE DU FER SUR LA FORME ET LA STRUCTURE DES PLANTES.

L'absence du fer dans la solution nutritive permet aux plantes d'atteindre un stade de développement assez avancé. Dans les espèces que j'ai étudiées, les différences de morphologie externe ne sont visibles qu'à partir du moment où la plante devient malade. Au début, le développement des plantes cultivées en milieu privé de fer est aussi rapide que celui des plantes vivant dans un milieu contenant du fer. L'apparition de la chlorose indique l'état de souffrance des plantes. Les racines des plantes sans fer ne se différencient pas des racines des plantes avec fer ; il en est de même pour la tige avant l'apparition de la chlorose.

Les feuilles chlorotiques sont un peu plus petites, plus étroites et plus minces. Leur coloration varie depuis le jaune pâle jusqu'au vert jaunâtre.

1. Maïs (*Zea Mays*).

Si l'on compare les coupes d'une racine de Maïs développée dans un liquide nutritif de Knop privé de fer et d'une racine de Maïs avec fer, on ne trouve pas de différences appréciables. Pour la tige, les différences sont plus marquées ; le diamètre des vaisseaux du bois est plus petit. La feuille chlorotique diffère de la feuille normale par son épaisseur ; le limbe de la feuille sans fer mesure cinq divisions micrométriques ; la feuille avec fer mesure huit divisions ; le nombre des chloroleucites est très diminué dans les feuilles chlorotiques.

2. Blé (*Triticum sativum*).

On ne trouve pas de différences dans la structure de la racine et de la tige du Blé sans fer et avec fer. La tige présente le même développement des éléments de soutien ; les faisceaux ont leurs vaisseaux du bois un peu moins grands. La feuille

chlorotique du Blé a son mésophylle réduit, les cellules polygonales du mésophylle sont moins épaisses que dans les feuilles de Blé cultivé en l'absence de phosphore.

3. Chanvre (*Cannabis sativa*).

Si l'on compare la structure du Chanvre cultivé avec du fer et du Chanvre cultivé sans fer, on ne trouve pas de différences dans les racines. La tige présente une réduction des éléments de soutien. A partir du quatrième entre-nœud le diamètre de la tige est diminué; il ne mesure que douze divisions micrométriques, tandis qu'il est de quinze divisions pour la tige normale. L'assise secondaire produit moins de vaisseaux; l'épaississement des fibres est moins marqué.

Sur une coupe transversale du limbe de la feuille chlorotique, le mésophylle présente le même nombre d'assises cellulaires, mais le diamètre de ces cellules est réduit. Les grains de chlorophylle sont rares et généralement appliqués aux parois des cellules.

4. Sarrasin (*Polygonum fagopyrum*).

Pour le Sarrasin, il n'y a pas de différences dans la structure de la racine des plantes cultivées sans fer et la racine des plantes cultivées avec fer.

Dans la tige, les différences de structure commencent à se produire après l'apparition de la cinquième feuille; on observe que l'assise génératrice interne ne produit plus un anneau continu de bois et que le nombre des vaisseaux est diminué.

Dans la feuille chlorotique, les différences sont plus marquées. Il y a une réduction du diamètre des cellules palissadiques et une diminution du nombre et de la lumière des vaisseaux.

En résumé, même en l'absence de fer, les plantes peuvent atteindre un certain développement; mais elles finissent par produire des feuilles décolorées, elles deviennent alors chlorotiques et leur développement s'arrête.

Les modifications apportées par l'absence du fer portent surtout sur la structure des feuilles.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Nous avons recherché quelle est l'influence du fer, de la potasse et du phosphore sur les principales fonctions des plantes ainsi que sur la forme et la structure des végétaux. Les expériences que nous avons faites nous ont permis d'arriver aux résultats énoncés précédemment, et que nous allons les résumer.

L'absence du fer, de la potasse et du phosphore dans les milieux nutritifs a produit une diminution de l'intensité respiratoire ; néanmoins le quotient respiratoire reste dans tous les cas voisin de l'unité ; la quantité d'acide carbonique décomposé, ramenée à l'unité de surface foliaire, est diminuée ; mais le rapport de la quantité d'acide carbonique absorbé à la quantité d'oxygène dégagé par la même surface de feuille reste toujours très voisin de l'unité.

Les plantes privées de fer décomposent moins d'acide carbonique par unité de surface foliaire que les plantes privées de potasse ou de phosphore.

Les plantes devenues chlorotiques par absence de fer transpirent moins que les plantes témoins, pour un même poids de plantes fraîches.

L'absence de la potasse et du phosphore dans les milieux nutritifs se fait sentir dès le commencement de la végétation ; elle empêche les plantes d'arriver à un développement normal ; en outre, elle modifie l'aspect extérieur des plantes.

En l'absence de potasse, les racines sont courtes, la tige a les entre-nœuds rapprochés ; la tige du Blé perd sa rigidité, les feuilles sont mal formées ; pour le Lupin, elles portent moins de folioles.

L'absence du phosphore rend les racines du Lupin très courtes et supprime les radicelles ; la tige est raccourcie, mais elle est plus haute que pour les plantes qui ont poussé en l'absence de potasse. Les premières feuilles sont d'un vert foncé, les dernières deviennent jaunes. Dans aucun cas les plantes ne fleurissent.

Tandis que l'absence de la potasse et du phosphore se fait sentir sur les plantes dès le début de la végétation, l'absence du fer n'influe sur leur développement qu'après une assez longue période.

Tout d'abord les plantes se développent normalement ; puis les feuilles jaunissent, et, à partir de ce moment, la tige devient plus grêle (Pois, Sarrasin), et peu après, le développement s'arrête. Toutefois quelques plantes peuvent fleurir en l'absence du fer (Lupin).

Quant à la structure, l'absence de la potasse a une très grande influence ; les tissus cellulosiques sont beaucoup plus développés ; les éléments de soutien et le bois sont diminués, les formations secondaires de la tige moins accentuées. Dans la feuille, le mésophylle, les vaisseaux et le liber sont moins développés.

En l'absence du phosphore, les éléments de soutien sont peu réduits ; mais l'assise génératrice interne de la tige ne donne pas un anneau continu de formations secondaires, et il y a réduction dans le nombre des vaisseaux. Le mésophylle et les vaisseaux des feuilles sont diminués. Les grains de chlorophylle disparaissent dans les dernières feuilles formées.

L'absence du fer ne modifie la structure qu'à partir du moment où la plante devient chlorotique ; elle se manifeste alors par la réduction du parenchyme foliaire et la diminution des grains de chlorophylle.

En résumé, l'absence de la potasse et du phosphore retentit sur la structure dès le début de la végétation ; la suppression du fer ne se fait sentir qu'à une période très avancée du développement. Son absence modifie surtout la structure foliaire, tandis que la potasse et le phosphore ont une action sur tous les tissus.

Ce travail a été fait au Laboratoire de Biologie végétale de Fontainebleau et au Laboratoire de Botanique de la Sorbonne. M. le professeur Gaston Bonnier a bien voulu m'aider de ses conseils ; je le prie d'accepter mes sincères remerciements.

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE I.

Fig. 1. — Coupe transversale dans le quatrième entre-nœud de la tige de Lupin cultivé dans la solution de Knop.

Fig. 2. — Coupe transversale dans le quatrième entre-nœud de la tige de Lupin cultivé dans la solution de Knop sans phosphore.

Fig. 3. — Coupe transversale dans le quatrième entre-nœud de la tige de Lupin cultivé dans la solution de Knop sans potasse.

Fig. 4. — Coupe transversale dans le quatrième entre-nœud de la tige du Sarrasin cultivé dans la solution de Knop.

Fig. 5. — Coupe transversale dans le quatrième entre-nœud de la tige du Sarrasin cultivé dans la solution de Knop sans phosphore.

Fig. 6. — Coupe transversale dans le quatrième entre-nœud de la tige de Sarrasin cultivé dans la solution de Knop sans potasse.

PLANCHE II.

Fig. 7. — Coupe transversale au niveau du deuxième entre-nœud de la tige de Lupin cultivé dans la solution de Knop.

Fig. 8. — Coupe transversale au niveau du deuxième entre-nœud de la tige de Lupin cultivé dans la solution de Knop sans phosphore.

Fig. 9. — Coupe transversale au niveau du deuxième entre-nœud de la tige de Lupin cultivé dans la solution de Knop sans potasse.

Fig. 10. — Coupe transversale dans le deuxième entre-nœud de la tige de Sarrasin cultivé dans la solution de Knop.

Fig. 11. — Coupe transversale dans le deuxième entre-nœud de la tige de Sarrasin cultivé dans la solution de Knop sans phosphore.

Fig. 12. — Coupe transversale dans le deuxième entre-nœud de la tige de Sarrasin cultivé dans la solution de Knop sans potasse.

PLANCHE III.

Fig. 13. — Coupe transversale dans le deuxième entre-nœud de la tige de Maïs cultivé dans la solution de Knop.

Fig. 14. — Coupe transversale dans le deuxième entre-nœud de la tige de Maïs cultivé dans la solution de Knop sans phosphore.

Fig. 15. — Coupe transversale dans le deuxième entre-nœud de la tige de Maïs cultivé dans la solution de Knop sans potasse.

Fig. 16. — Coupe transversale au niveau du deuxième entre-nœud de la tige de Blé cultivé dans la solution de Knop.

Fig. 17. — Coupe transversale au niveau du deuxième entre-nœud de la tige de Blé cultivé dans la solution de Knop sans phosphore.

Fig. 18. — Coupe transversale au niveau du deuxième entre-nœud de la tige de Blé cultivé dans la solution de Knop sans potasse.

PLANCHE IV.

Fig. 19. — Coupe de la nervure principale de la deuxième feuille de Blé cultivé dans la solution de Knop.

Fig. 20. — Coupe de la nervure principale de la deuxième feuille de Blé cultivé dans la solution de Knop sans phosphore.

Fig. 21. — Coupe de la nervure principale de la deuxième feuille de Blé cultivé dans la solution de Knop sans potasse.

Fig. 22. — Coupe de la nervure principale de la troisième feuille de Sarrasin cultivé dans la solution de Knop.

Fig. 23. — Coupe de la nervure principale de la troisième feuille de Sarrasin cultivé dans la solution de Knop sans phosphore.

Fig. 24. — Coupe de la nervure principale de la troisième feuille de Sarrasin cultivé dans la solution de Knop sans potasse.

Fig. 25. — Coupe de la nervure principale de la troisième feuille de Maïs cultivé dans la solution de Knop.

Fig. 26. — Coupe de la nervure principale de la troisième feuille de Maïs cultivé dans la solution de Knop sans phosphore.

Fig. 27. — Coupe de la nervure principale de la troisième feuille de Maïs cultivé dans la solution de Knop sans potasse.

LETTRES COMMUNES.

as, assise génératrice libéro-ligneuse secondaire; *b*, bois; *bs*, bois secondaire; *ep*, épiderme; *epi*, épiderme de la face inférieure; *eps*, épiderme de la face supérieure; *ec*, écorce; *fp*, fibres péricycliques; *h*, hypoderme; *end*, endoderme; *p*, péricycle; *pm*, parenchyme médullaire; *m*, moelle; *par*, parenchyme; *rm*, rayon médullaire; *scl*, sclérenchyme; *vs*, vaisseaux du bois secondaire; *ls*, liber secondaire; *l*, liber; *pl*, poils.



DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

ZOOLOGIE. — INFLUENCE DES MATIÈRES CALCIQUES SUR LA MORPHOLOGIE
ET LES FONCTIONS DES ANIMAUX.

GÉOLOGIE. — LES KARPATHE ROUMAINES : OROGRAPHIE ET GÉOLOGIE.

Vu et approuvé : Paris, le 17 mai 1903.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer :

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

L. LIARD.

CORBEIL. IMPRIMERIE ÉD. CRÉTÉ

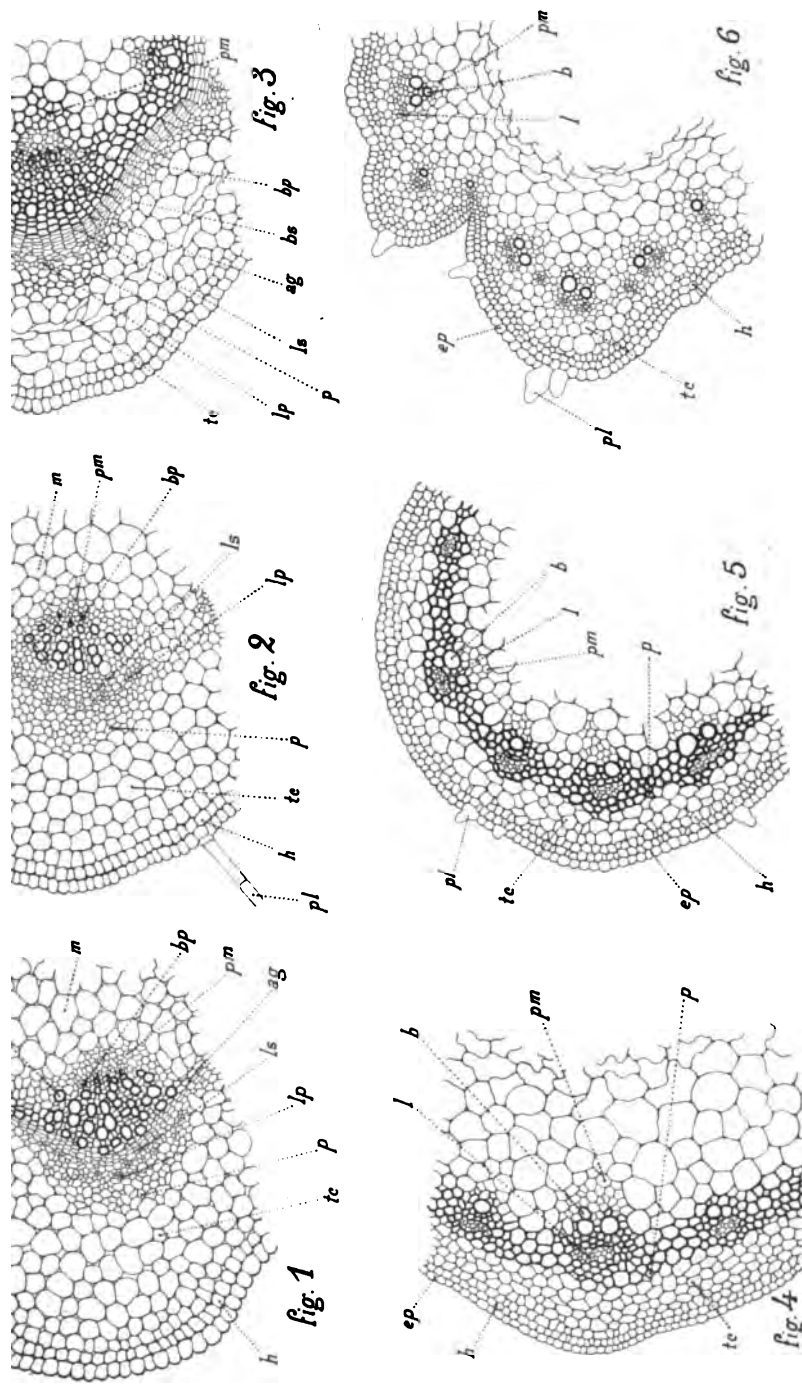
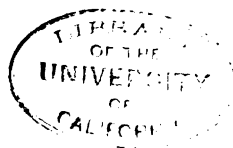


PLANCHE I. — 1, 2 et 3, *Lupin* ; 4, 5 et 6, *Sarrasin*.



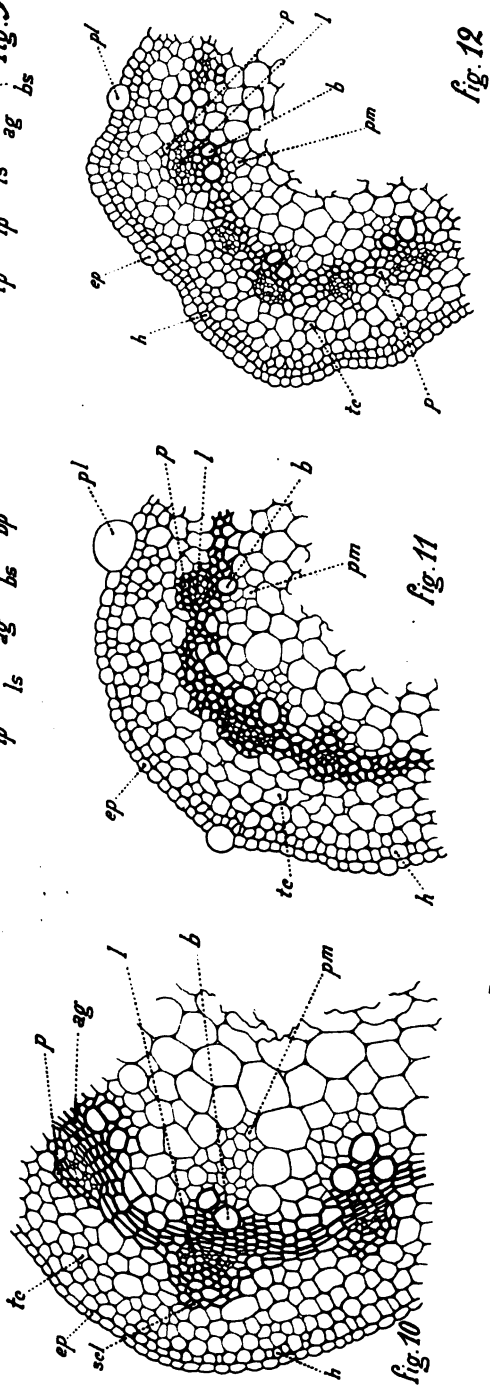
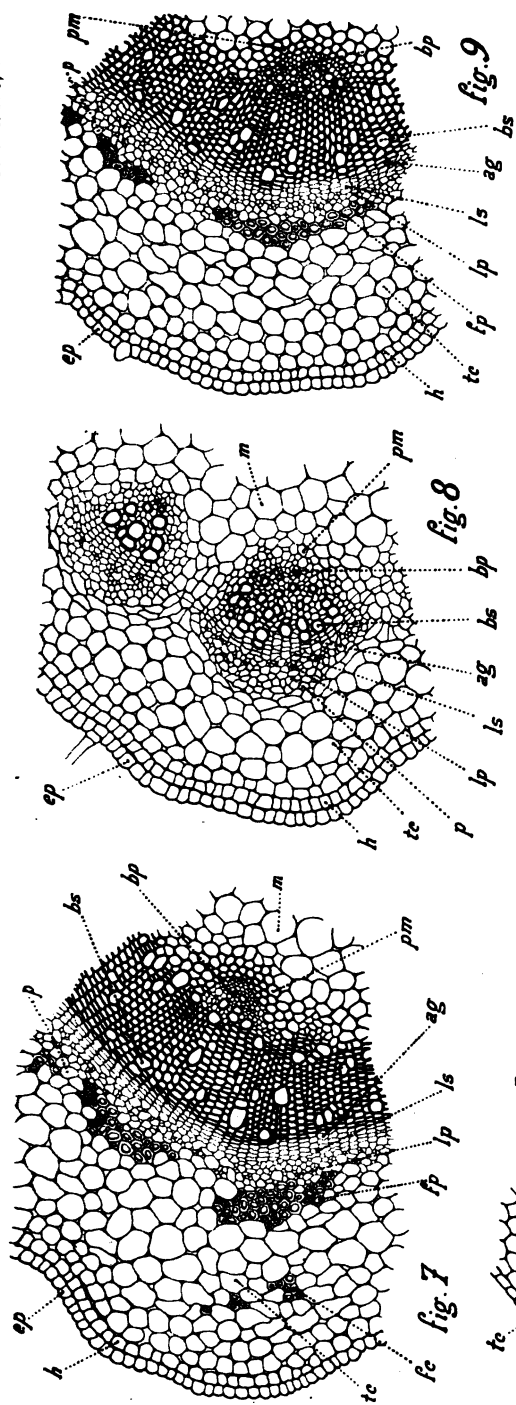
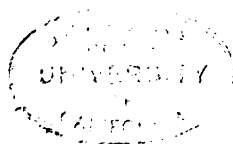


PLANCHE. II. — 7, 8 et 9, *Lupin*; 10, 11 et 12, *Sarrasin*.



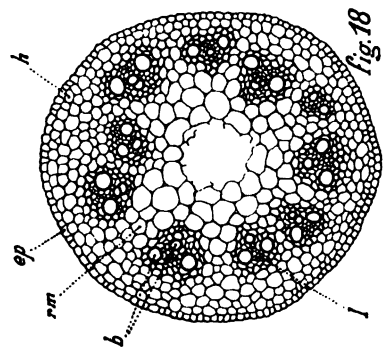
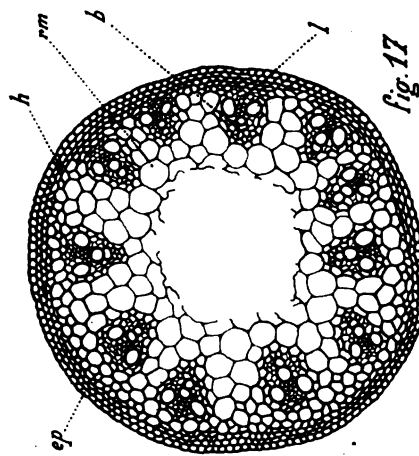
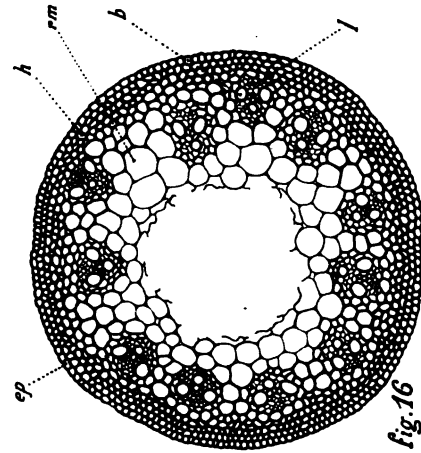
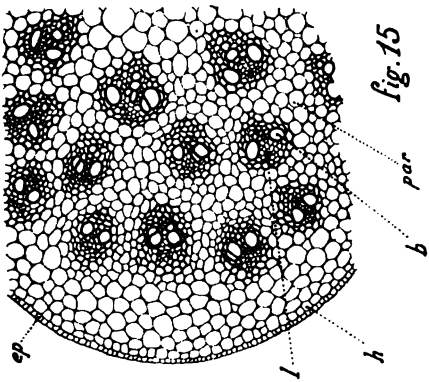
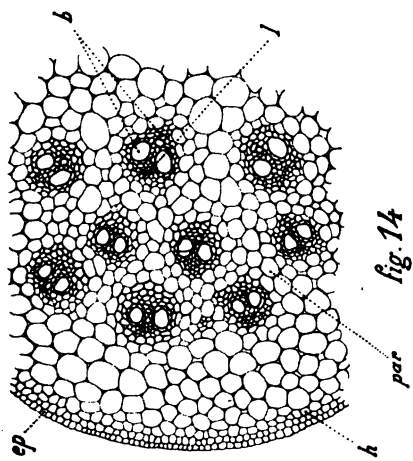
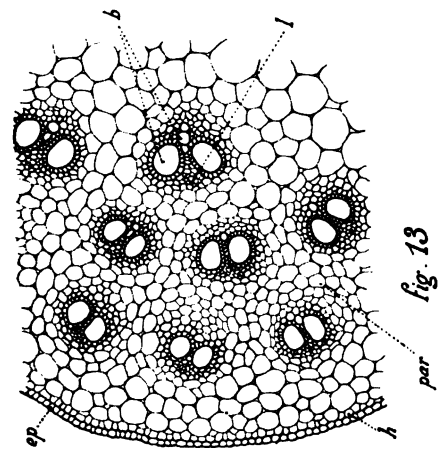


PLANCHE III. — 13, 14 et 15, Mais ; 16, 17 et 18, Blé.



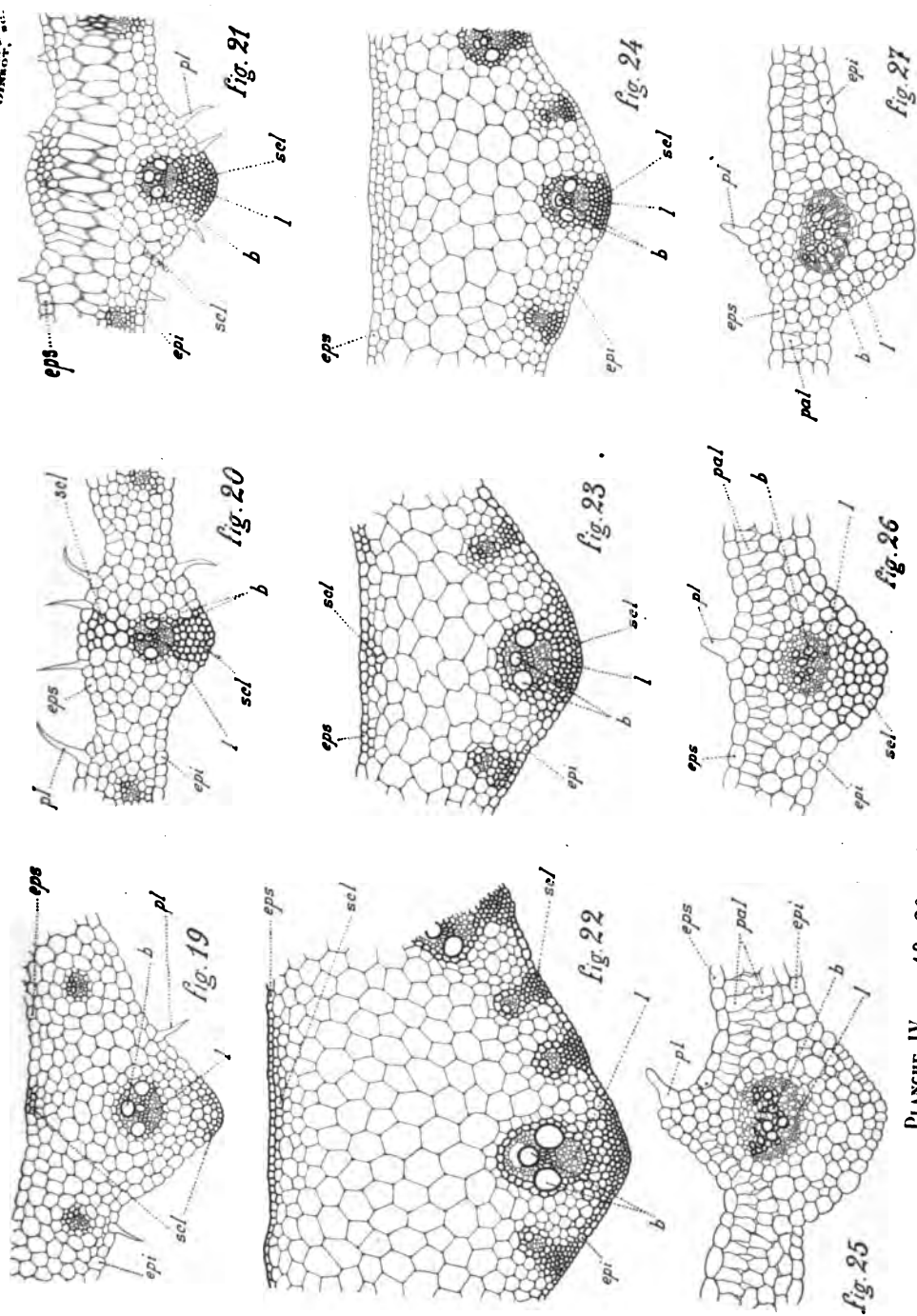


PLANCHE IV. — 19, 20 et 21, Blé ; 22, 23 et 24, Mais ; 25, 26 et 27, Sarrasin.



1

2

3

4

14 DAY USE
RETURN TO DESK FROM WHICH BORROWED

BIOLOGY LIBRARY

This book is due on the last date stamped below, or
on the date to which renewed.

Renewed books are subject to immediate recall.

JAN 25 1962

Ja29'62 E J

LD 21-50m-6 '60
(B1321s10)476

General Library
University of California
Berkeley

U.C. BERKELEY LIBRARIES



C026326416

Schizanthus

169014

QA776

BIOLOGY
LIBRARY
G

